

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
 Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Модернизация системы управления электродугового реактора постоянного тока совмещенного типа с вертикальными электродами</b>

УДК 004.896:621.387.145-048.35

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM91	Герасимов Роман Дмитриевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	к.т.н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Гончарова Наталья Александровна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	к.т.н.		

По разделу «Иностранная часть»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н., доцент		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	к.т.н., доцент		

Томск – 2021 г.

## Планируемые результаты освоения ООП

15.04.04 – Автоматизация технологических процессов и производств  
(Киберфизическая автоматизация технологических процессов и производств)

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, самостоятельно изучать научно-техническую документацию своей профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Способен определить математическую и техническую сущность задач и провести их качественно-количественный анализ
ОПК(У)-3	Способен на основании статистических методов участвовать в проведении корректирующих и превентивных мероприятий, направленных на улучшение качества, интерпретировать и представлять результаты
ОПК(У)-4	Способен анализировать полученные результаты измерений на основе их физической природы и принимать обоснованные решения в области профессиональной деятельности
<b>Профессиональные компетенции выпускников</b>	
ПК(У)-1	Обладает способностью разрабатывать технические задания на модернизацию и автоматизацию действующих производственных и технологических процессов и производств, технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний, новые виды продукции, автоматизированные и автоматические технологии ее производства, средства и системы автоматизации, управления процессами, жизненным циклом продукции и ее качеством;
ПК(У)-2	Обладает способностью проводить патентные исследования с целью обеспечения патентной чистоты и патентоспособности новых проектных решений и определения показателей технического уровня проектируемой продукции, автоматизированных и автоматических технологических процессов и производств, средств их технического и аппаратно-программного обеспечения;
ПК(У)-3	Обладает способностью: составлять описание принципов действия и конструкции устройств, проектируемых технических средств и систем автоматизации, управления, контроля, диагностики и испытаний технологических процессов и производств общепромышленного и специального назначения для различных отраслей национального хозяйства, проектировать их архитектурно-программные комплексы;

ПК(У)-4	Обладает способностью разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты автоматизированных и автоматических производств различного технологического и отраслевого назначения, технических средств и систем автоматизации управления, контроля, диагностики и испытаний, систем управления жизненным циклом продукции и ее качеством с использованием современных средств автоматизации проектирования, отечественного и зарубежного опыта разработки
ПК(У)-5	Обладает способностью разрабатывать функциональную, логическую и техническую организацию автоматизированных и автоматических производств, их элементов, технического, алгоритмического и программного обеспечения на базе современных методов, средств и технологий проектирования;

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

Период выполнения – весенний семестр 2020/2021 учебного года

Форма представления работы:

Магистерской диссертации

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.05.2021	Основная часть	75
16.05.2021	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
18.05.2021	Социальная ответственность	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	К.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Гайворонский Сергей Анатольевич	К.Т.Н., доцент		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
Направление подготовки – 15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение автоматизации и робототехники

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ Гайворонский С. А.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ91	Герасимову Роману Дмитриевичу

Тема работы:

Модернизация системы управления электродугового реактора постоянного тока совмещенного типа с вертикальными электродами	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 50-14/с от 19.02.2021

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования является электродуговой реактор постоянного тока. Режим работы периодический. Вид сырья порошки. Необходимо обеспечить поддержание стабильного разрядного промежутка и повысить производительность и надежность системы.</p>
--	---

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Аналитический обзор аналогичных установок 2. Обоснование для модернизации 3. Схема подключения оборудования 4. Сборка системы 5. Адаптация программного кода 6. Апробирование и оценка результата работы
<b>Перечень графического материала</b> <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Схема подключения оборудования

### Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гончарова Наталья Александровна, Доцент отделения социально-гуманитарных наук, к.э.н.
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович, доцент отделения общетехнических дисциплин, к.т.н.
Раздел на иностранном языке	Сидоренко Татьяна Валерьевна, доцент отделения иностранных языков, к.п.н, доцент

### Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Введение
Анализ предметной области
Методы получения нанодисперсных материалов
Плазмохимические реакторы
Обзор существующих реакторов
Вывод по главе 1

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

### Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	к.т.н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM91	Герасимов Роман Дмитриевич		

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
8TM91	Герасимову Роману Дмитриевичу

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах.

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала инженерных решений (ИР)	Оценка потенциальных потребителей исследования, SWOT – анализ, оценка готовности разработки к коммерциализации
2. Формирование плана и бюджета инженерного проекта (ИП)	Планирование этапов работ, определение трудоемкости и построение календарного графика, формирование бюджета.
3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИР и потенциальных рисков	Оценка сравнительной эффективности исследования Интегральный показатель ресурсоэффективности – 4.77 Интегральный показатель эффективности – 4.77 Сравнительная эффективность проекта – 1.104

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Оценка конкурентоспособности НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Иерархическая структура работ проекта
4. Рабочая группа проекта
5. Матрица SWOT
6. График разработки
7. Бюджет НТИ
8. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Гончарова Наталья Александровна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM91	Герасимов Роман Дмитриевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
8ТМ91	Герасимову Роману Дмитриевичу

Школа	ИШИТР	Отделение (НОЦ)	ОАР
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»

Тема ВКР:

**Модернизация системы управления электродугового реактора постоянного тока совмещенного типа с вертикальными электродами**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования и разработки является система управления плазмохимического реактора постоянного тока. В состав системы входят: шаговый двигатель, твердотельное реле, трансформаторы напряжения, силовой источник питания, осциллограф, датчики, контроллер и драйвер. Рабочим местом является зона, включающая рабочий стол, пульт управления и монитор. Областью применения данной системы являются предприятия, производящие и изучающие нанодисперсные материалы. Также данную систему можно использовать для переработки отходов.
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021); – ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» – ГОСТ 12.2.049-80 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования» – ГОСТ 22614-77. Система «человек-машина». Выключатели и переключатели клавишные и кнопочные. Общие эргономические требования; – ГОСТ 12.1.029-80 Система стандартов безопасности труда; – СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; – СанПиН 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение;
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– отклонение показателей микроклимата; – повышенная яркость света; – повышенный уровень шума на рабочем месте; – повышенное значение температуры реактора, которое может вызвать ожоги тканей организма человека; – повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека.
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	– загрязнение атмосферы объектом исследования не выявлено; – загрязнение гидросферы объектом исследования не выявлено; – выявление загрязнения литосферы объектом исследования: утилизация оборудования и печатных плат.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– возникновение пожара.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ТМ91	Герасимов Роман Дмитриевич		



## Реферат

Выпускная квалификационная работа выполнена на 114 страницах, содержит 32 рисунка, 23 таблицы, 42 источника литературы, 2 приложения.

Ключевые слова: модернизация, системы позиционирования, плазмохимический реактор, управление, наноматериалы, plasma arc, arduino, synthesis, raspberry pi, recycling.

Данная работа посвящена модернизации системы управления электродугового реактора постоянного тока совмещенного типа с вертикальным расположением электродов.

Объектом исследования является существующая плазмохимическая установка, разработанная на базе микроконтроллера ATmega328 и одноплатного компьютера raspberry pi.

Цель работы – реализация систем мониторинга рабочих режимов, систем поддержания стабильной электрической мощности на дуге в условиях изменения величины разрядного промежутка в электродуговых реакторах постоянного тока.

Результатом работы является повышение надежности и удобства использования плазмохимического реактора постоянного тока.

Значимость работы заключается в улучшении системы, которая используется для создания карбида вольфрама, карбида молибдена, карбида кремния и других нанодисперсных материалов.

Основные результаты работы изложены на XVIII, XVII и XVI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Молодежь и современные информационные технологии" (г. Томск, 2019-2021). По итогу конференций были получены 2 диплома II степени. В ходе выполнения работы было оформлено 2 свидетельства регистрации программы для ЭВМ.

Результаты проведенных работ отражены в 6 печатных работах.

## Оглавление

Введение.....	13
1 Анализ предметной области .....	15
1.1 Методы получения нанодисперсных материалов .....	15
1.2 Плазмохимические реакторы.....	16
1.3 Обзор существующих реакторов.....	18
1.4 Вывод по главе 1 .....	21
2 Модернизация системы управления плазмохимического реактора .....	23
2.1 Принцип работы системы .....	23
2.2 Обзор систем позиционирования .....	24
2.2.1 Корпус для 3-D принтера .....	24
2.2.2 Корпус фрезерного станка .....	25
2.2.3 Линейные привода .....	26
2.3 Сборка системы позиционирования .....	26
2.4 Разработка системы дистанционного контроля.....	28
2.5 Вывод по главе 2 .....	29
3 Сборочные и пусконаладочные работы системы управления плазмохимического реактора постоянного тока.....	31
3.1 Модернизация системы позиционирования.....	31
3.2 Адаптация алгоритма работы .....	32
3.3 Повышение надежности системы .....	37
3.4 Реализация системы дистанционного управления .....	39
3.4.1 Настройка Raspberry Pi.....	39
3.4.2 Подключение к удаленному рабочему столу.....	42
3.4.3 Настройка видеосвязи .....	44
3.4.4 Обмен данными.....	45
3.5 SCADA система.....	47
3.6 Апробирование реактора.....	49
3.7 Вывод по главе 3 .....	51
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	53
4.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	53
4.2 Анализ QuaD.....	54

4.3 SWOT-анализ.....	56
4.4 Оценка готовности разработки к коммерциализации.....	57
4.5 Инициация разработки .....	59
4.6 Планирование научно-исследовательских работ .....	60
4.6.1 Иерархическая структура работ .....	60
4.6.2 План разработки.....	61
4.6.3 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	63
4.6.4 Разработка графика проведения научного исследования.....	66
4.7 Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	68
4.7.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	68
4.7.2 Основная заработная плата исполнителей темы .....	70
4.7.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы .....	71
4.7.4 Отчисление во внебюджетные фонды.....	72
4.7.5 Накладные расходы .....	72
4.7.6 Прямые затраты.....	73
4.7.7 Расчет амортизационных отчислений .....	73
4.7.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	74
4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	75
4.9 Вывод по главе 4 .....	77
5 Социальная ответственность .....	79
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	79
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства .....	80
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. ..	80
5.2 Производственная безопасность .....	81
5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	82
5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего) .....	89
5.3 Экологическая безопасность.....	91
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	92
5.4.1 Анализ вероятных ЧС.....	92

5.4.2 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС.....	92
5.4.3 Разработка действий в случае возникновения ЧС.....	93
5.5 Выводы по разделу .....	94
Заключение .....	96
Список литературы .....	98
Приложение А (обязательное) Схема подключения оборудования .....	103
Приложение Б (справочное) Раздел на иностранном языке.....	105

## Введение

За последние два десятилетия наноструктурированные углеродные материалы были изучены различными исследователями. Многие наноматериалы все активнее внедряются в повседневную жизнь. Например, такой материал как карбид кремния. Он имеет различные полезные для науки и техники свойства: высокая твердость, стойкость к окислению в воздушной среде, коррозионная стойкость, радиационная стойкость, высокая теплопроводность и др. [1, 2]. Такой набор свойств материала делает его перспективным для применения во множестве отраслей, в том числе в аэрокосмической [3, 4] - в качестве основы для получения высокотемпературной сверхтвердой керамики [5]. Однако во многих существующих реакторах есть свои недостатки и сложности, такие как ручное управление [6] и как следствие низкая повторяемость экспериментов, использование сложного и дорогостоящего оборудования, синтез в вакууме или среде инертного газа. Следует также отметить, что многие разработки в данной области ведутся за пределами России, большинство работ в данной области были выполнены в Японии.

В России подобная установка, для получения нанодисперсных материалов, есть в центре Экоэнергетика 4.0, который является структурным подразделением инженерной школы энергетики томского политехнического университета. Данная система не является законченным устройством, а является лабораторным образцом. Это выражается в низкой производительности, всего порядка (2 – 7) г за один запуск, что, безусловно, является малым объемом для промышленного производства. Тем не менее, данного объема производства достаточно для изучения свойств и параметров синтеза различных материалов.

Несомненно, данная система требует определенной модернизации. Во-первых, в условиях пандемии острой проблемой стало отсутствие возможности дистанционной отладки и управления. Во-вторых, при проведении длительных

реакций, величина разрядного промежутка увеличивается, что приводит к гашению дуги. В-третьих, важным этапом развития системы является масштабирование и повышение производительности. Для решения данных проблем были поставлены следующие задачи:

1. реализация дистанционного управления и видеосвязи с использованием одноплатного компьютера Raspberry. Обмен данными между одноплатным компьютером и аппаратной платформой Arduino, для возможности передачи параметров или вывода данных с датчика с использованием Ethernet протокола;
2. разработка алгоритмов для поддержания заданного разрядного промежутка между электродами;
3. выбор компонентов для системы позиционирования;
4. реализация трехосевой системы позиционирования для повышения производительности реактора;
5. реализация алгоритмов для проведения серийных экспериментов.

Целью данной работы является модернизация системы управления электродугового реактора постоянного тока совмещенного типа с вертикальными электродами. Модернизация данной системы должна повысить производительности реактора, поддерживать стабильную электрическую мощность на дуге в условиях изменения величины разрядного промежутка, а так же проводить мониторинг рабочих режимов.

# 1 Анализ предметной области

## 1.1 Методы получения нанодисперсных материалов

Можно выделить ряд общих подходов, которые являются характерными для всех методов получения нанопорошков (рисунок 1) и отличают их от методов получения обычных порошков:

- высокая скорость образования центров зарождения частиц,
- малая скорость роста частиц,
- наибольший размер получаемых частиц не более 100 нм,
- узкий диапазон распределения частиц по размерам,
- стабильность получения частиц заданного размерного диапазона,
- воспроизводимость химического и фазового состава частиц,
- повышенные требования к контролю и управлению параметрами процесса получения.



Рисунок 1 – Методы получения нанопорошков

Плазмохимический синтез осуществляется с использованием низкотемпературной плазмы дугового или тлеющего разрядов (обычного, высокочастотного или сверхвысокочастотного разрядов). В качестве исходного сырья используются металлы, галогениды или другие соединения.

Взаимодействие плазмы с обрабатываемым веществом обеспечивает плавление, диспергирование, испарение, а затем восстановление и синтез продукта с размером частиц до нанометров, включая параметры так называемого критического зародыша. Наиболее универсальный способ получения нанопорошков металлов, сплавов и соединений – восстановление и синтез в химически активной плазме. На ряде объектов отмечены относительно небольшой разброс по дисперсности и форма частиц, близкая к сферической. За счет достаточно высокой температуры плазмы (до 10000 К) и высоким скоростям взаимодействия обеспечивается переход практически всех исходных веществ в газообразное состояние и их последующим взаимодействием и конденсацией продуктов в виде нанопорошка с частицами правильной формы, имеющими размеры от 10 до 200 нм.

## **1.2 Плазмохимические реакторы**

Согласно классификации плазмохимических электродуговых реакторов, существуют реакторы раздельного, раздельно-совмещенного и совмещенного типов (рисунок 2), отличающихся расположением зон плазмогенерации и плазмохимического реагирования в пространстве.

Благодаря высокой скорости протекания химических процессов плазмохимические реакторы имеют высокую производительность. При этом электрическая дуга используется как нагревательный элемент, так как большая мощность и высокая плотность тепловой энергии позволяют достигать высоких температур в реакторе. В связи с этим, в настоящее время плазмохимические реакторы становятся все более востребованными как в синтезе нанодисперсных



материалов, так и в переработке полимеров. Существующие реакторы имеют следующую конструкцию (рисунок 3) [8].

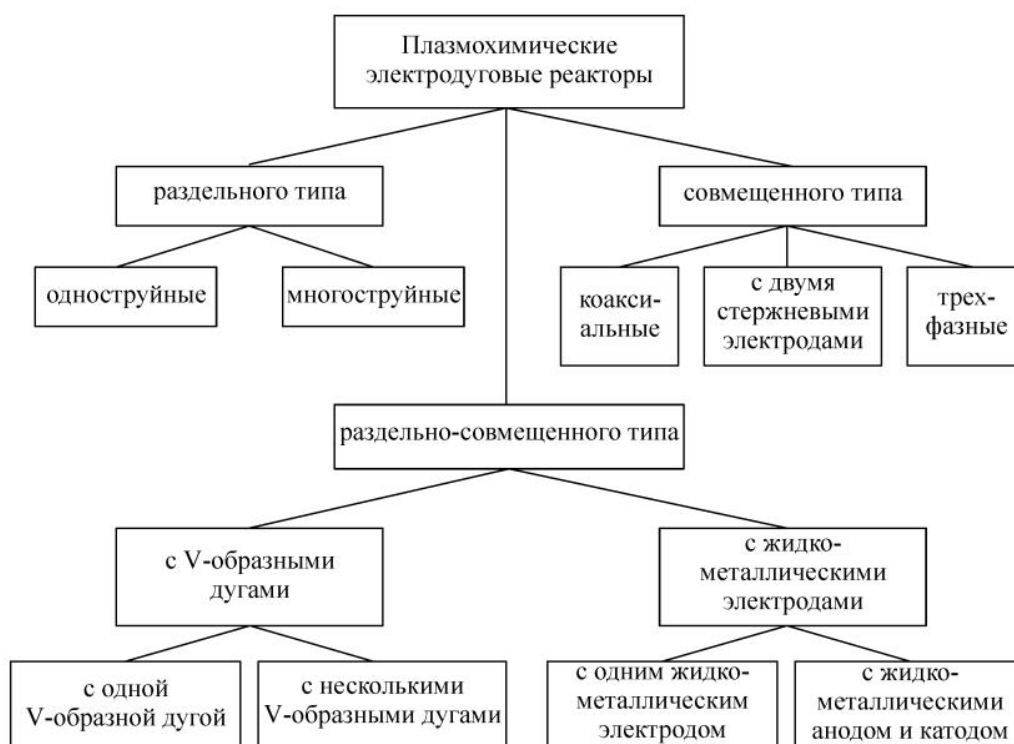


Рисунок 2 – Категории плазмохимических электродуговых реакторов [7]

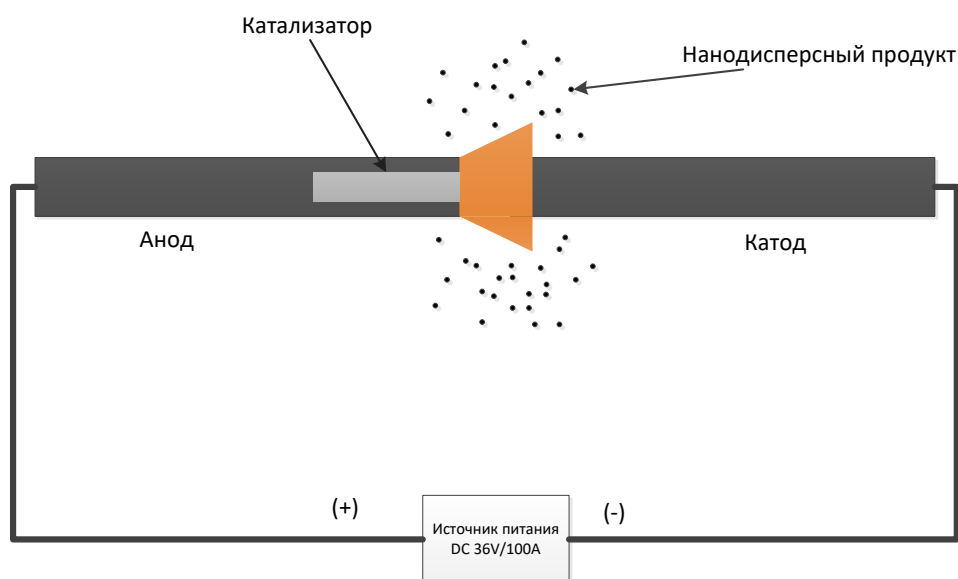


Рисунок 3 – Типовая конструкция реакторов совмещенного типа

Электроды могут быть как одинакового, так и разного диаметра, и формы, также может изменяться расположение электродов вертикально, или перпендикулярно. Кроме того, существуют системы с вращающимся анодом

[9], с системой для закачивания газов в область образования дуги [10] или с созданием низкого давления [11] и даже с изменяемым диаметром катода[12].

### 1.3 Обзор существующих реакторов

Большинство существующих установок по получению наноматериалов являются коммерческой тайной или малыми установками при различных научных и учебных учреждениях. Так, например компания OCSiAl, которая находится в Новосибирске, имеет установку по производству графеновых нанотрубок. На данный момент, известно о промышленной установке Graphetron 50 [13], которая позволяет производить 50 тонн материала в год. В 2020 году компания стала крупнейшим поставщиком углеродных нанотрубок в Европе [14]. Узнать что-то про эту установку не предоставляется возможным, поскольку нет фотографий данной установки, а если в зону где находится установка попадает человек, не имеющий доступа, то система автоматически закрывается непрозрачными листами, так называемым саркофагом (рисунок 4).

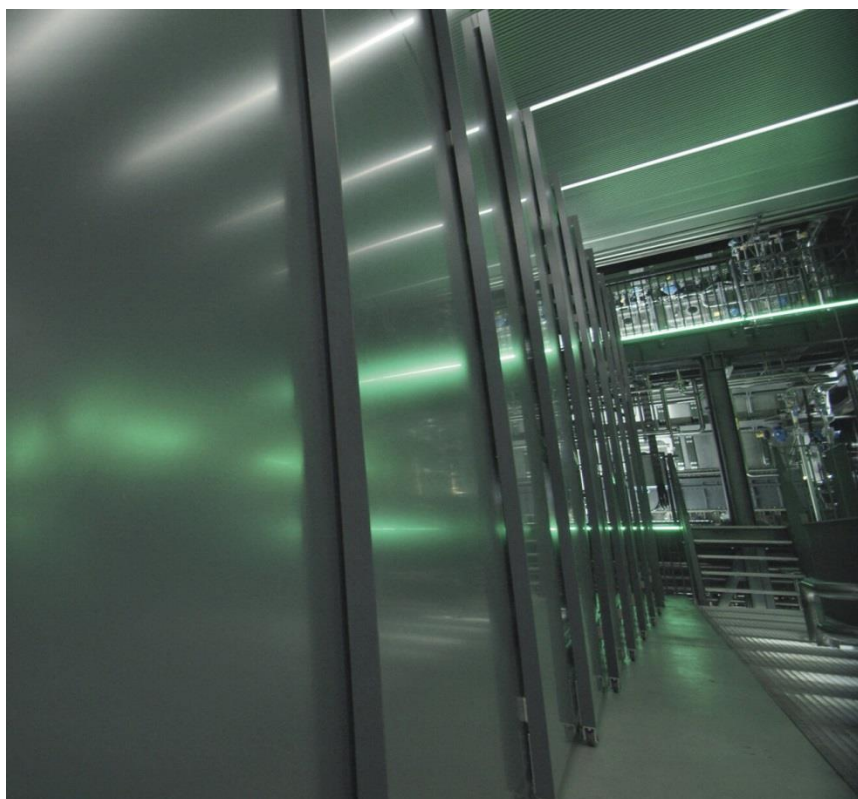


Рисунок 4 – Внешний вид саркофага

Как можно видеть, подобные системы промышленного масштаба не публикуются в открытом доступе, поэтому изучить подобные системы становится возможным только по схемам в научных публикациях. Например, система получения карбида вольфрама методом электрической эрозии [15]. Конструктивно данная система подобна типовой конструкции плазмохимических реакторов совмещенного типа (рисунок 5).

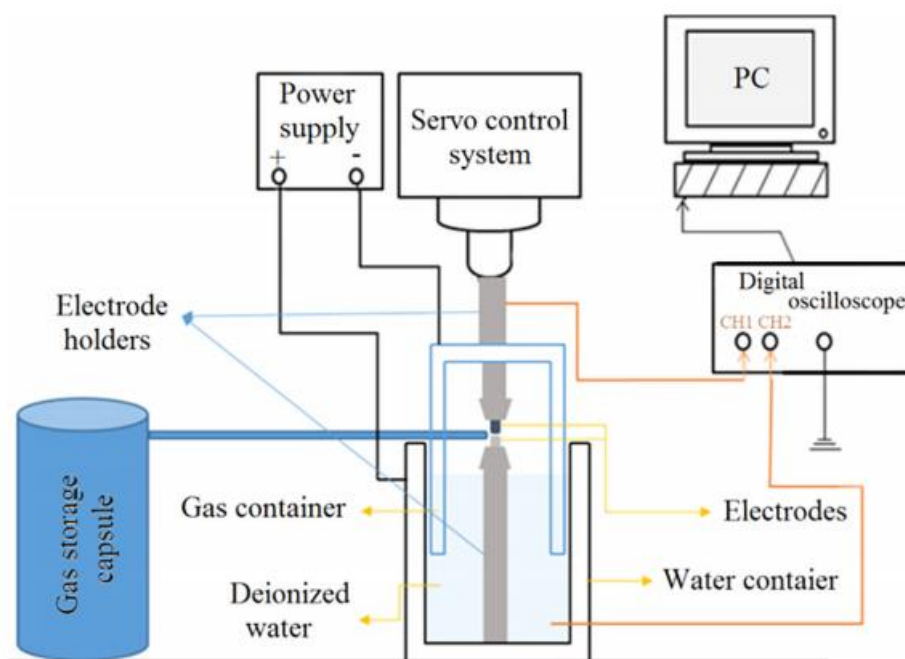


Рисунок 5 – Схема установки для синтеза карбида вольфрама в среде инертного газа [15]

На схеме можно видеть основные отличия от синтеза в открытой воздушной среде, это подача инертного газа непосредственно в зону реакции и заполнение емкости деионизированной водой, для обеспечения чистоты полученного продукта.

Другая система имеет схожий принцип работы, различие заключается в заполнении емкости инертным газом, материал, получаемый в результате синтеза, сдувается из реакционной зоны при помощи вентилятора. Сбор материала производится со стен емкости (рисунок 6) [16].

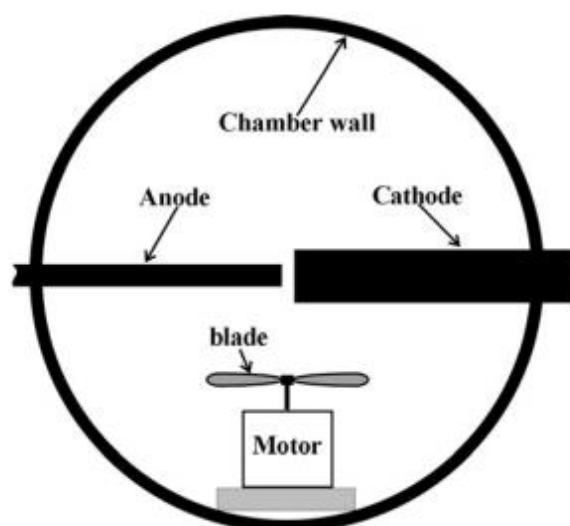


Рисунок 6 – Схема плазмохимического реактора постоянного тока с вентилятором [16]

Как видим из данных исследований, многие установки используют инертные газы, что значительно влияет на стоимость и сложность сборки реактора, хотя исследования показали [17,18], что в открытой воздушной среде можно получить материалы высокого качества.

Из автоматизированных систем следует отметить реактор с вращающимися электродами (рисунок 7) [19].

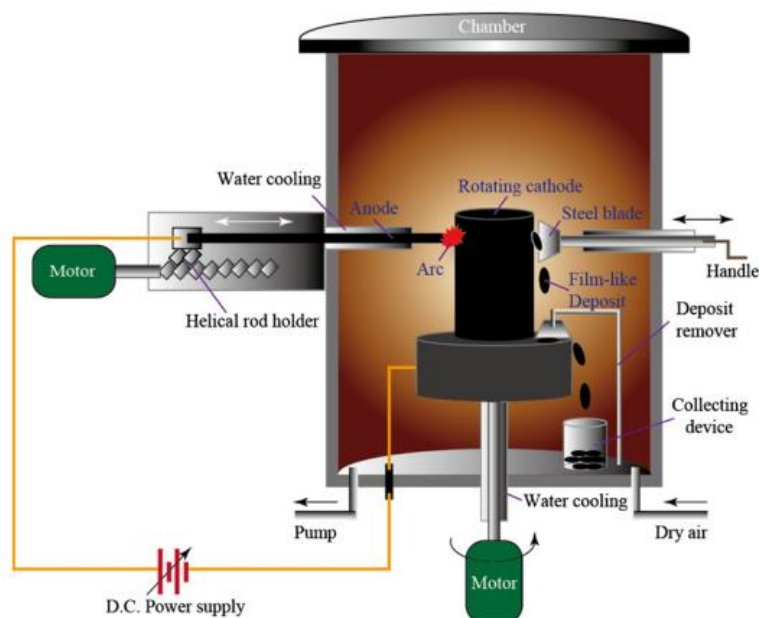


Рисунок 8 – Схема плазмохимического реактора постоянного тока с вращающимся катодом [19]

В данной системе используются графитовый стержень диаметром 8 мм и длиной 150 см в качестве анода. Он закреплен на держателе, в передаточном устройстве, подающем электрод в камеру с помощью шагового двигателя. Графитовый цилиндр диаметром 80 мм и высотой 120 мм, в качестве катода, прикреплен к графитовому диску диаметром 160 мм и высотой 20 мм, который соединен с двигателем с частотой вращения 3 об/мин. Расстояние между анодом и катодом можно изменять с помощью шагового двигателя. Противоположная сторона анода состоит из стального лезвия и ручки, которая используется для соскабливания пленкообразных продуктов, которые осаждаются на поверхности цилиндрического катода. Для охлаждения электродов используется водная система, а камера заполняется воздухом.

Как можно увидеть из обзора, большинство систем плазмохимического синтеза с использованием источника постоянного тока основаны на протекании реакций в инертной или безвоздушной среде, что свидетельствует о новизне методики синтеза нанодисперсных материалов. Данная методика апробирована для получения карбида вольфрама [20], карбида кремния [21], карбида молибдена [22] и других ценных материалов.

#### **1.4 Вывод по главе 1**

У каждой из систем есть свои недостатки и преимущества, кроме того следует заметить, что определенная технология проявляет себя по-разному для синтеза тех или иных компонентов. Например, для работы с металлами лучше подходит система с горизонтальным расположением электродов. Также во многих системах используется ручное управление перемещением электродов, что приводит к низкой повторяемости экспериментов.

Исходя из обзора существующих аналогов, на данный момент самыми малоизученными являются реакторы совмещенного типа в открытой воздушной среде. Большинство существующих установок спроектированы с использованием инертных газов или безвоздушной среды, что сильно влияет на

итоговую стоимость и трудоемкость сборки подобных реакторов. Система, работающая в открытой среде, позволит значительно упростить конструкцию и получить преимущество в цене и скорости производства, однако дальнейшая модернизация, направленная на повышение производительности, усложнит систему, что негативно повлияет на цену и скорость производства. Несмотря на это, в перспективе, экономическая выгода от модернизации системы может значительно превысить текущие затраты.



определения границ линейного привода используются микропереключатели. Верхний микропереключатель также используется в программе, для определения позиции электрода. Как можно видеть на схеме, для его подключения требуется крайние выводы соединить с +5 В и GND, а центральный подает сигнал на порт D8. На микроконтроллер подается питание 5 В, а для шагового двигателя 12 В. Питание на датчик тока подается через делитель, во-первых это позволяет разделить питание шагового двигателя и датчика тока, а во-вторых по документации все показания датчика указаны при питании 8 В. Поскольку в дальнейшем планируется переход от линейного привода к трехосевому позиционированию, следует заменить плату на Arduino Mega, поскольку потребуется большее число цифровых входов и выходов.

## **2.2 Обзор систем позиционирования**

Для позиционирования электродов были изучены следующие системы:

1. 3-D принтеры;
2. фрезерные станки;
3. линейные привода.

### **2.2.1 Корпус для 3-D принтера**

В целом, принцип работы и схема реактора схожи с принципом работы 3-D принтеров. Поэтому стоило обратить внимание на использование корпусов 3-D принтеров для сборки реактора, конструкция одного из таких корпусов представлена на рисунке 10.

Из достоинств следует отметить: большое разнообразие, низкие цены, наличие готовых сборок с шаговыми двигателями, драйверами и микропереключателями. Однако, как показали первые опыты при сборке реактора, листовая сталь деформируется и оплавляется при длительном воздействии высоких температур. Учитывая, что при использовании второй



оси, время под нагревом увеличится, использование данной конструкции в реакторе нецелесообразно.



Рисунок 10 – Корпус 3-D принтера Prusa i3 Steel

### **2.2.2 Корпус фрезерного станка**

Следующей системой со схожим принципом работы является фрезерный станок (рисунок 11).



### Рисунок 11 – Корпус настольного фрезерного станка

Подобные станки имеют большую цену в сравнении с корпусами 3-D принтеров и являются более массивными. Также можно отметить меньшую рабочую плоскость. Из положительных качеств можно отметить, что сталь в рабочей зоне имеет большую толщину, данная модель снабжена более мощными шаговыми двигателями. Использование данной конструкции в реакторе является лучшим из рассмотренных вариантов. Хотя в данной конструкции используется алюминий, температура плавления которого ниже чем у стали, он обладает большей теплопроводностью [23] (примерно в 5 раз), что возможно позволит отводить тепло, однако для однозначных выводов необходимо провести серию экспериментов.

#### **2.2.3 Линейные привода**

Несмотря на то, что реализация с использованием линейных приводов оказалась не лучшим решением, стоит отметить преимущества использования данной системы позиционирования. Для позиционирования по одной оси, данный привод проявил себя очень хорошо и является надежным, бюджетным решением для сборки подобных установок, если целью является не количество получаемой продукции, а изучение материалов получаемых плазмохимическим методом.

#### **2.3 Сборка системы позиционирования**

Для увеличения производительности реактора было принято решение реализовать перемещение электродов по второй оси, таким образом можно увеличить количество передаваемой энергии и количество обрабатываемого материала.

При реализации второй оси позиционирования были использованы компоненты, используемые в основной установке, а именно: шаговый двигатель Nema 17, драйвер шагового двигателя A4988, микропереключатели

SM5-02N-38G и линейный привод (рисунок 12). Кроме того, предусмотрена возможность ручного управления реактором с помощью кнопок. Листинг программы представлен в приложении А.



Рисунок 12 – Линейный привод с шаговым двигателем

Разработанная система управления позволяет управлять реактором по заданной программе и вручную при необходимости или при выходе из строя датчика напряжения.

Для установки ограничителей на горизонтальной оси были спроектированы модели держателей (рисунок 13).

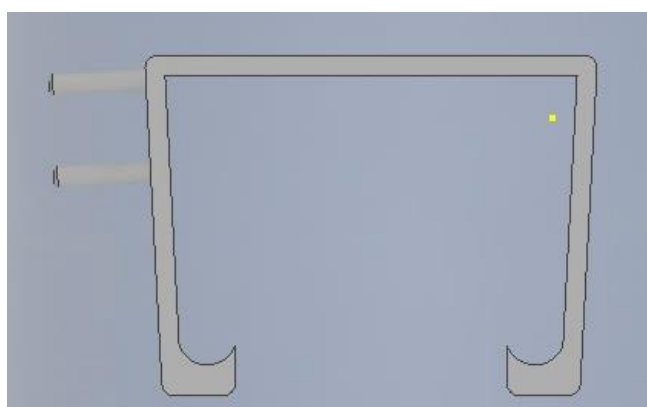


Рисунок 13 – Модель держателя для микропереключателя

Данные ограничители позволяют установить правую и левую границы передвижения платформы, что позволит работать с тиглями различных размеров.

Однако после проведения ряда исследований было выявлено, что использование двух линейных приводов для перемещения имеет следующие недостатки: необходимость крепления двух приводов и проведение монтажа с использованием подручных средств, низкая статичность конструкции, затруднения при конструировании системы теплоотвода, усложнение сборки конструкции путем добавления компонентов собранных собственноручно, сложность дальнейшей модернизации.

Во время проведения исследований стало понятно, что проектируемая система конструктивно схожа с устройством 3D-принтеров и фрезерных станков, однако самостоятельная сборка и конструирование подобной системы является трудоемкой, при этом не имея значительной материальной выгоды.

Поскольку в новой системе позиционирования используются другие шаговые двигатели и соответственно другие драйверы, сборка системы производилась с демонтажем почти всей прошлой системы. Во избежание различных нежелательных токов, монтаж всех компонентов производится с использованием листового текстолита толщиной 4 мм. Во время сборки корпуса, были добавлены микропереключатели для ограничения конечных точек перемещения.

Поскольку корпус системы позиционирования может контактировать с электродами, необходимо его заземлить, при заземлении сопротивление составило 2.6 Ом, что соответствует ПТЭЭП [24].

Следует так же отметить, что данная установка является действующей и на ней проводятся опыты, невозможно производить постепенную замену. Исходя из этого, новая конструкция должна обеспечивать минимальный функционал после замены, для предотвращения застоев в работе.

## **2.4 Разработка системы дистанционного контроля**

Поскольку в данной системе уже используется одноплатный компьютер Raspberry Pi, было принято решение использовать его для реализации

дистанционного управления и видеосвязи. Данное устройство используется во многих проектах, например умный дом [25]. Параметры Raspberry Pi представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики одноплатного компьютера Raspberry Pi 3 model B

Параметр	Значение
Процессор	64-битный четырёхъядерный ARM Cortex-A53 с тактовой частотой 1,2 ГГц на однокристальном чипе Broadcom BCM2837
Оперативная память	1ГБ LPDDR2 SDRAM
Интерфейсы периферии	micro SD, micro USB, GPIO, USB 2.0 x4
Габариты	85x56x17 мм
Порты ввода вывода	40

Как можно видеть из таблицы, у Raspberry Pi весьма хорошие параметры и его можно использовать не только для поставленной задачи, но и в будущем позволит расширить систему.

## 2.5 Вывод по главе 2

В ходе выполнения данной работы были получены следующие результаты:

1. изучены некоторые конструкции для позиционирования;
2. произведен выбор конструкции для реализации системы позиционирования;
3. произведен монтаж системы;
4. реализовано заземление корпуса согласно ПТЭЭП;
5. рассмотрено решение для возможной реализации дистанционного управления.

Для новой системы позиционирования портов на Arduino Nano, недостаточно, поэтому требуется заменить плату контроллера. Для замены рассматривались только платформы Arduino, поскольку, для данной системы уже написан программный код для модулей, интегрируемых в другие

установки. Поэтому замена контроллера на другой является лишней тратой. В качестве нового контроллера была установлена Arduino Mega, поскольку задачи не являются ресурсоемкими для использования Duo, главным критерием является большое количество портов.

При реализации системы позиционирования изначально планировалось использовать запасной линейный привод, во избежание временных и экономических затрат, однако при реализации оказалось что система построенная на линейных приводах не имеет достаточной жесткости и неудобна в эксплуатации. Для устранения недостатков пришлось бы собрать полностью свою систему позиционирования, что значительно усложняет сборку подобных систем.

Сложная эпидемиологическая ситуация показала, что система не готова для работы в дистанционном режиме. Отсутствие дистанционного управления и видеосвязи привело к остановке работ на несколько месяцев. Даже незначительная поломка в таких условиях может остановить работу всей системы.

Таким образом, выбор готовой системы позиционирования значительно упростит сборку подобных систем, а удаленный доступ позволит вести работы удаленно. Обеспечение безопасности установки также является важным пунктом при разработке систем, поскольку возможен контакт с незащищенными частями установки, что может привести к травмам или летальному исходу. Кроме того, отсутствие заземления может привести к поломке системы.

### **3 Сборочные и пусконаладочные работы системы управления плазмохимического реактора постоянного тока**

#### **3.1 Модернизация системы позиционирования**

После выбора системы позиционирования необходимо собрать систему для ее управления. Управление шаговыми двигателями производится при помощи драйверов ТВ6600. Схема подключения оборудования после модернизации представлена в приложении А.

На данной схеме можно отметить следующие принципиальные отличия:

1. использование трех шаговых двигателей вместо одного, поскольку была произведена замена системы позиционирования;
2. отсутствие подтягивающих резисторов, поскольку в данной системе было принято решение изменить логику работы. Подтягивание кнопки производится в коде программы с использованием функции INPUT\_PULLUP;
3. добавлены кнопки для ручного управления, что повышает удобство позиционирования электродов и позволяет проверять соосность анода и катода;
4. добавлены светодиоды для индикации режима работы установки: автоматический, полуавтоматический/ручной;
5. добавлен дублирующий датчик тока, что позволит функционировать системе в случае выхода из строя одного из датчиков;
6. добавлен сигнал с делителя напряжения для повышения надежности системы и возможности расчета параметров системы, таких как мощность и полученная энергия;
7. добавлены микропереключатели на каждую из осей системы позиционирования для определения границ системы;
8. добавлены регуляторы скорости для ручного перемещения по осям;
9. кнопка перезагрузки платы была добавлена на основную панель, для остановки выполнения программы без остановки всей системы.

Как можно видеть из данных пунктов, в системе было произведено большое количество изменений, которые необходимо учесть при разработке программного кода. Увеличение числа рабочих осей значительно повысит производительность реактора. Использование инвертированной логики и дублирование датчиков тока позволят повысить надежность системы и снизить количество отказов и неудачных экспериментов. Получение значений тока и напряжения позволяет рассчитать мощность и количество энергии получаемой реагентами, что в свою очередь ускорит процесс обработки данных и позволит проводить эксперименты не только по времени, но и по количеству энергии. Регуляторы скорости и кнопка перезагрузки позволяют повысить удобство использования системы.

Еще одним важным дополнением системы является внедрение системы охлаждения. Для серийного производства был сконструирован держатель для электродов. В качестве материала использовался алюминий размерами 190x130x13 мм с проточками для установки шести тиглей, в проточки устанавливаются стальные пяты, для предотвращения оплавления алюминия. Однако при длительной работе температура держателя может значительно возрастать, поэтому снизу к нему крепятся алюминиевые бруски с отверстием, через которое протекает дистиллированная вода. Разработкой и реализацией данной системы занимались другие члены команды, поэтому описание конструкции и процесс реализации в данной работе не описывается.

### **3.2 Адаптация алгоритма работы**

Для использования всех новых компонентов системы необходимо адаптировать программный код, для этого был изменен алгоритм работы системы. Во-первых, было добавлено позиционирование по горизонтальной и фронтальной оси. Также важно определить расстояние от крайних точек до одного из тиглей и расстояние между тиглями. Во-вторых, был написан код для управления с кнопок ручного управления и реализовано переключение



между автоматическим и полуавтоматическим/ручным режимом. В ручном режиме была реализована функция установки скорости перемещения электрода с помощью потенциометра. Для определения, в каком состоянии находится система, добавлена индикация состояния.

Ранее использовался следующий алгоритм работы (рисунок 14).

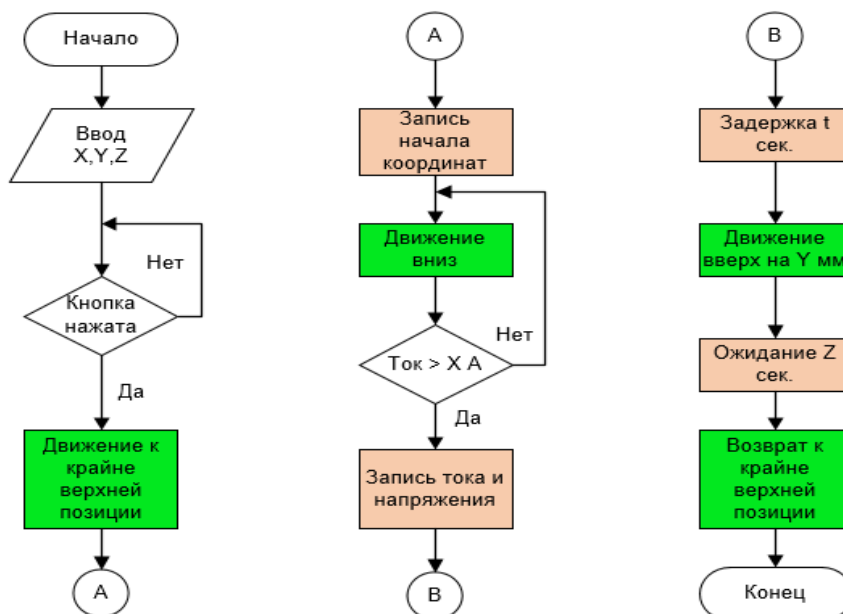


Рисунок 14 – Блок-схема ранней версии программы

Для начала работы требуется ввести параметры синтеза и нажать кнопку «Пуск», после чего верхний электрод начинает движение к верхней границе, для определения положения. Далее производится движение электрода вниз, до достижения контакта между анодом и катодом, в результате чего ток в системе увеличится. Увеличение значение тока означает контакт между электродами, и при достижении заданного значения система начинает запись и задерживается некоторое время, поскольку прогрев электродов является важным процессом для стабильного горения дуги. Спустя заданное время анод движется вверх на заданное значение, для образования разрядного промежутка. В данном положении электрод находится согласно заданному времени, после чего возвращается к верхней крайней позиции для подготовки к следующим экспериментам.

Данный алгоритм использовался на новой системе до реализации нового алгоритма, поскольку многие эксперименты уже были запланированы, а для написания и отладки нового программного кода требуется время. Программный код для новой системы создавался согласно блок-схеме представленной на рисунке 15.

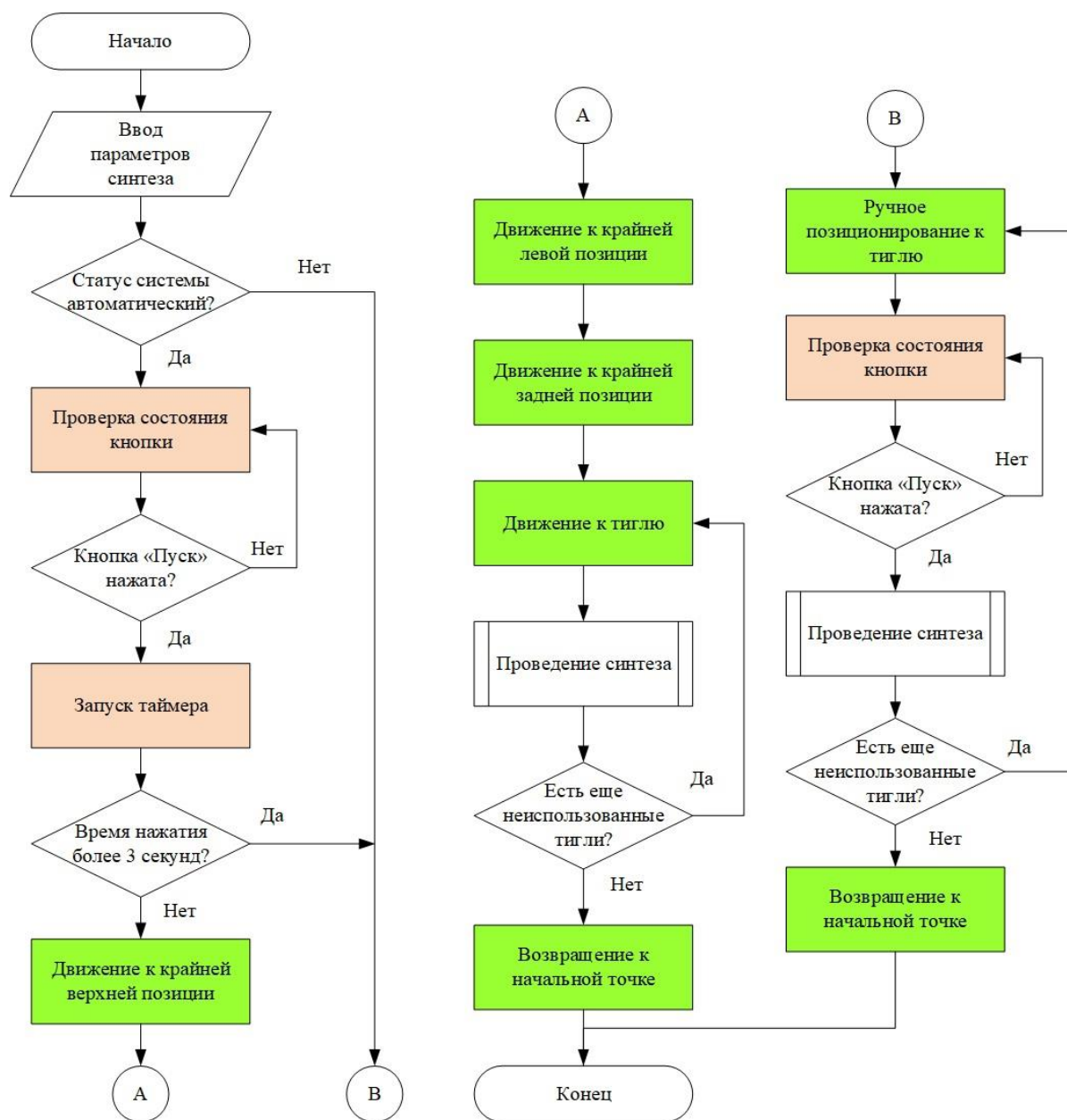


Рисунок 15 – Блок-схема новой версии программы

Принцип работы нового алгоритма в целом остался прежним, однако существуют важные нововведения. Как и ранее, изначально система определяет положение относительно крайнего положение, но теперь для каждой из осей. Затем система перемещается до первого электрода, где происходит процесс,

описанный ранее, но с важным отличием. Ранее эксперименты проводились без поддержания разрядного промежутка, поскольку длительность редко превышала одну минуту, поскольку в системе отсутствовала система охлаждения. Поэтому теперь, благодаря системе охлаждения длительность реакции можно увеличить до нескольких минут, для получения новых материалов. Однако во время синтеза происходит эрозия анода и, следовательно, увеличение разрядного промежутка. Расстояние между электродами является важным параметром для синтеза и работы установки в целом. При увеличении расстояния увеличивается сопротивление в дуге и при расстоянии больше определенного разряд плазмы просто погаснет. Блок-схема алгоритма синтеза представлена на рисунке 16.

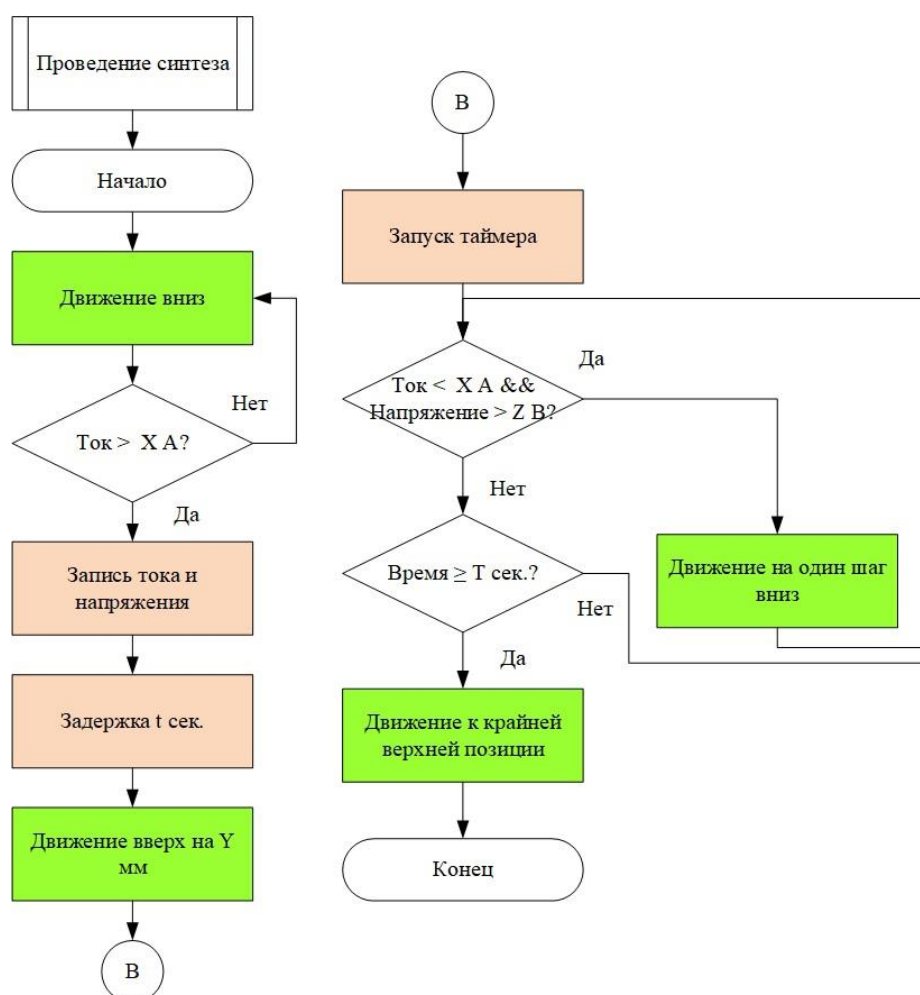


Рисунок 16 – Блок-схема подпрограммы для проведения синтеза

Поскольку во время реакции электроды значительно накаляются, и по ним течет высокий ток, весьма трудно измерить расстояние между ними. Кроме

того, весьма затруднительно измерять длину относительно нулевого положения анода, поскольку у электродов может быть разная длина, форма и положение в зажиме. Исходя из поставленной задачи, существует несколько методов для поддержания разряда.

1. Постепенная подача электрода. Для этого метода необходимо определить скорость эрозии электрода и опускать электрод каждые  $X$  секунд. Минусом данного метода является возможность оседания катодного депозита на дне тигля, а также новые расчеты для разных диаметров и форм у электрода.

2. Контакт и отступ. При коротком замыкании напряжение стремится к нулю, а ток будет максимальным, это можно использовать для поддержания разрядного промежутка. Однако, данный метод имеет значительные недостатки, например, возможно прилипание электродов, попадание большого количества катодного депозита в синтезируемый материал, температурные колебания от гашения дуги.

3. Подача электрода по изменению вольтамперных характеристик. По мере эрозии анода расстояние между электродами увеличивается, следовательно, исходя из закона Ома, увеличивается сопротивление и уменьшается сила тока. Зная данную закономерность можно регулировать положение, поддерживая заданное значение тока. Этот метод позволяет поддерживать не только расстояние, но и силу тока, что в свою очередь обеспечивает равномерную подачу энергии в синтезируемые материалы.

В данном алгоритме реализован метод поддержания разрядного промежутка по измерению вольтамперных характеристик, то есть регулирование по отклонению измеряемых параметров.

После проведения синтеза, анод возвращается к верхней крайней точке, после чего переходит к следующему тиглю и процесс повторяется. После окончания эксперимента система возвращается к начальной позиции.

В полуавтоматическом режиме оператор сам позиционирует систему, а при нажатии кнопки «Пуск» выполняется цикл по выполнению синтеза и возвращение к верхней точке.

### **3.3 Повышение надежности системы**

Основной проблемой является высокая степень отказов датчика тока, что приводит к нарушению параметров синтеза и соответственно незапланированным результатам. Один из основных параметров, а именно, заданное время синтеза, порой из-за этого имеет большую длительность, чем необходимо. Исходя из данной, проблематики было решено использовать следующие меры повышения надежности системы.

Дублирование датчиков тока. В данной системе самым слабым звеном является именно датчик тока на эффекте Холла. Во-первых, выходной сигнал датчика тока зависит от напряжения питания, а именно, при холостом ходу на выход датчика подается половина напряжения питания. Соответственно необходимо использовать источник тока с точно известным значением напряжения питания и установить на входе и выходе датчика тока конденсаторы. Во-вторых, управление системой производится по сигналу датчика тока, в случае его поломки система становится неработоспособной, поэтому во избежание данной проблемы следует установить, по крайней мере, два датчика тока, для получения возможности замены сломавшегося датчика после проведения серии экспериментов. И в-третьих, в случае сильного влияния помех на датчик, дублирование позволяет сравнить показания и определить это.

Дублирование сигналов. Во время синтеза происходит падение напряжения и рост силы тока (рисунок 17). Зная это, мы можем использовать сигнал на управление, как по току, так и по напряжению. В результате, в коде программы используется не один сигнал, а три которые связаны между собой логическим «ИЛИ». Схема подключения представлена на рисунке 18. Таким

образом, мы можем повысить вероятность срабатывания и повышение надежности системы.

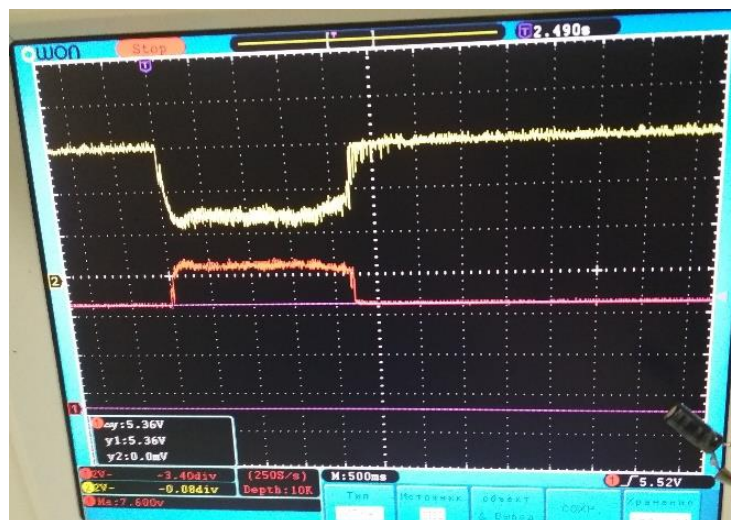


Рисунок 17 – Данные с осциллографа

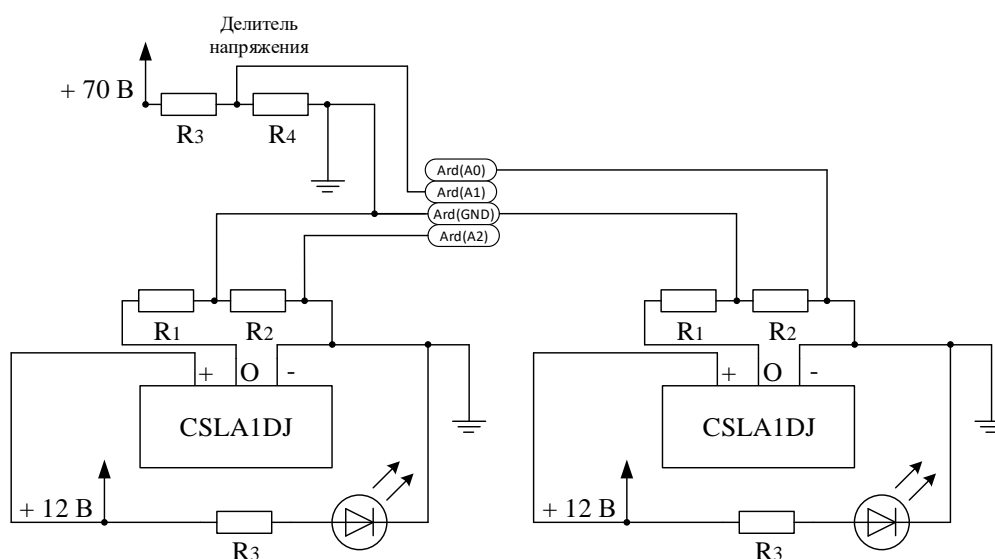


Рисунок 18 – Схема подключения датчиков

Экранирование сигнальных кабелей. Во время синтеза, электрическая дуга создает помехи, которые отражаются на корректности работы датчиков и кнопок, провода которых находятся достаточно близко к реакционной зоне. Дуга является источником высокочастотных помех, поэтому для экранирования использовались провода с пленочным экраном из алюминиевой фольги.

Инвертирование логики. Дополнительным решением проблемы с наводкой на провода является инвертирование сигналов в системе, таким

образом, подтягивающий резистор находится не на GND, а на VCC, а в программе условием срабатывания является 0, а не 1. Данное решение также помогло избавиться от «шума» на некоторых участках системы, что положительно повлияло на надежность системы и качество управления в целом.

Отправка серии сигналов на управление. Последним шагом для увеличения надежности системы является изменение кода программы таким образом, чтобы контроллер отправлял не один сигнал, а серию сигналов, это не скажется на быстродействии, однако поможет избежать ситуации, если одиночный сигнал был потерян. Для исключения случайного срабатывания кнопок от случайного нажатия или каких-либо помех используется также программная проверка, в цикле проверяется время нажатия, если сигнал приходит в течение 0.1 секунды, тогда программа реагирует на нажатие.

### **3.4 Реализация системы дистанционного управления**

Реализация системы производилась на одноплатном компьютере Raspberry Pi, данное устройство использовалось ранее для визуализации параметров при отладке системы.

#### **3.4.1 Настройка Raspberry Pi**

Перед началом работы с одноплатным компьютером, необходимо установить операционную систему на microSDHC-карту, важно учесть параметры карты, для комфортной работы рекомендуется использовать карту на 16 ГБ, 10 класса скорости. Для подключения к компьютеру и дальнейшей установки системы потребуется картридер, адаптер с microSDHC на SD обычно продается в комплекте с картой.

На сайте [26] можно найти дистрибутивы операционных систем для Raspberry. Самым популярным и понятным в освоении является дистрибутив Raspbian, аналог Debian для персональных компьютеров.

После скачивания образа, его необходимо установить на карту, самые популярные приложения для этого:

- Rufus.
- Win32DiskImager.
- Etcher.

При установке стоит отформатировать карту в формат FAT32, это позволит избежать многих проблем при работе и настройке.

После установки можно вставить карту в Raspberry и запустить его. После первого запуска необходимо настроить удаленный доступ, поскольку, во-первых, это позволит работать с платой без использования устройств ввода и вывода, но необходимо подключение к сети. Во-вторых, настройка удаленного доступа является задачей данной работы, для возможности отладки и управления реактора удаленно.

Одним из наиболее распространённых способов удалённого управления Raspberry Pi является управление платой по протоколу SSH при помощи Putty.

Сперва необходимо настроить Raspberry Pi для создания VNC-сервера.

1. Запустить Raspberry Pi.
2. Установить VNC сервер на Raspberry Pi используя команду: `sudo apt-get install realvnc-vnc-server realvnc-vnc-viewer`.
3. Зайти в настройки при помощи команды: `sudo raspi-config`. Откроется окно с пунктами выбора настроек (рисунок 19).



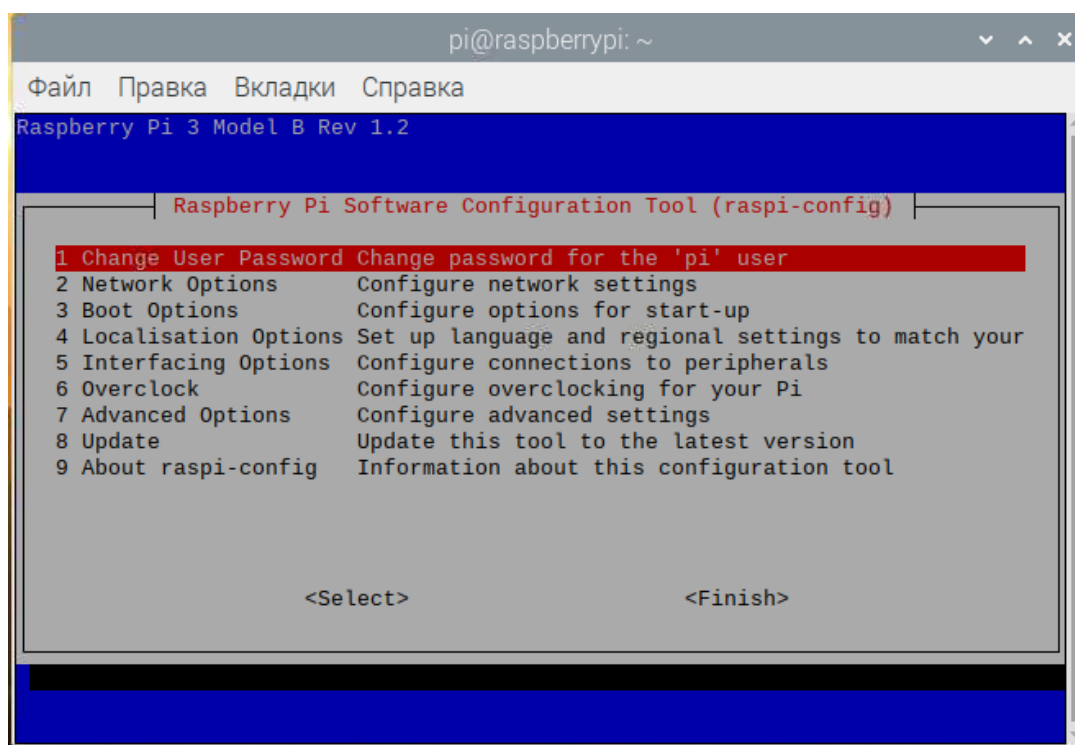


Рисунок 19 – Окно настроек Raspberry

4. Зайти в пункт меню: Interfacing Options -> VNC и подтвердить включение VNC кнопкой YES, после чего появится сообщение об успешном включении VNC (рисунок 20).

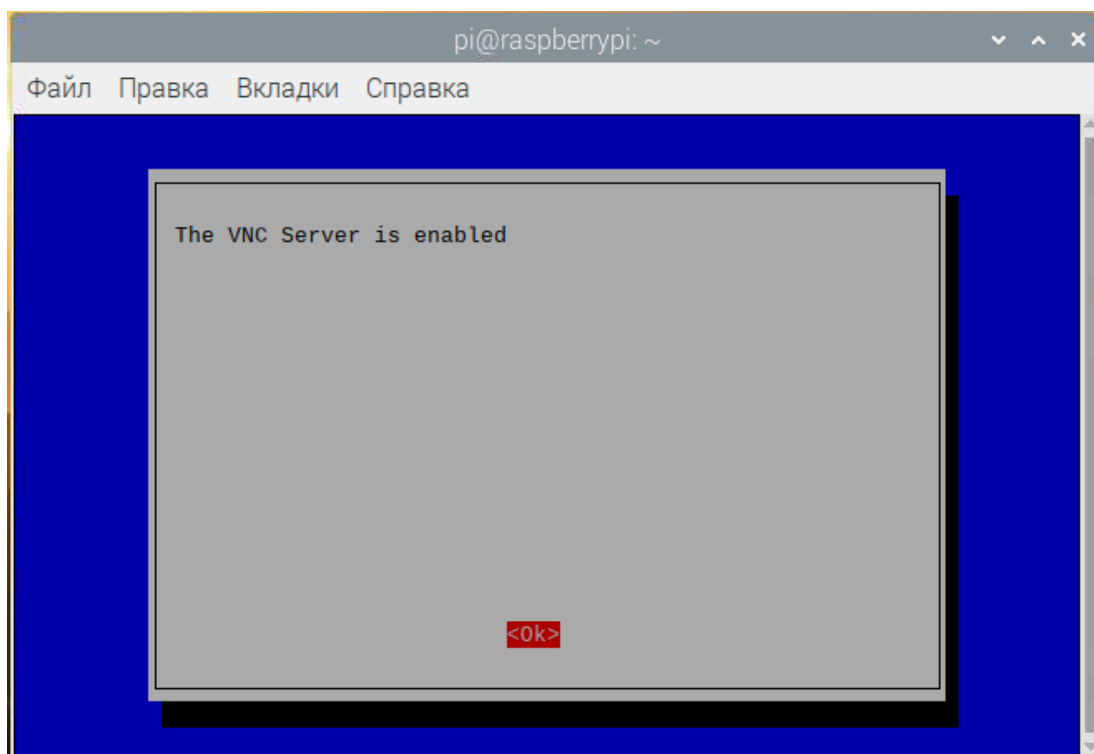
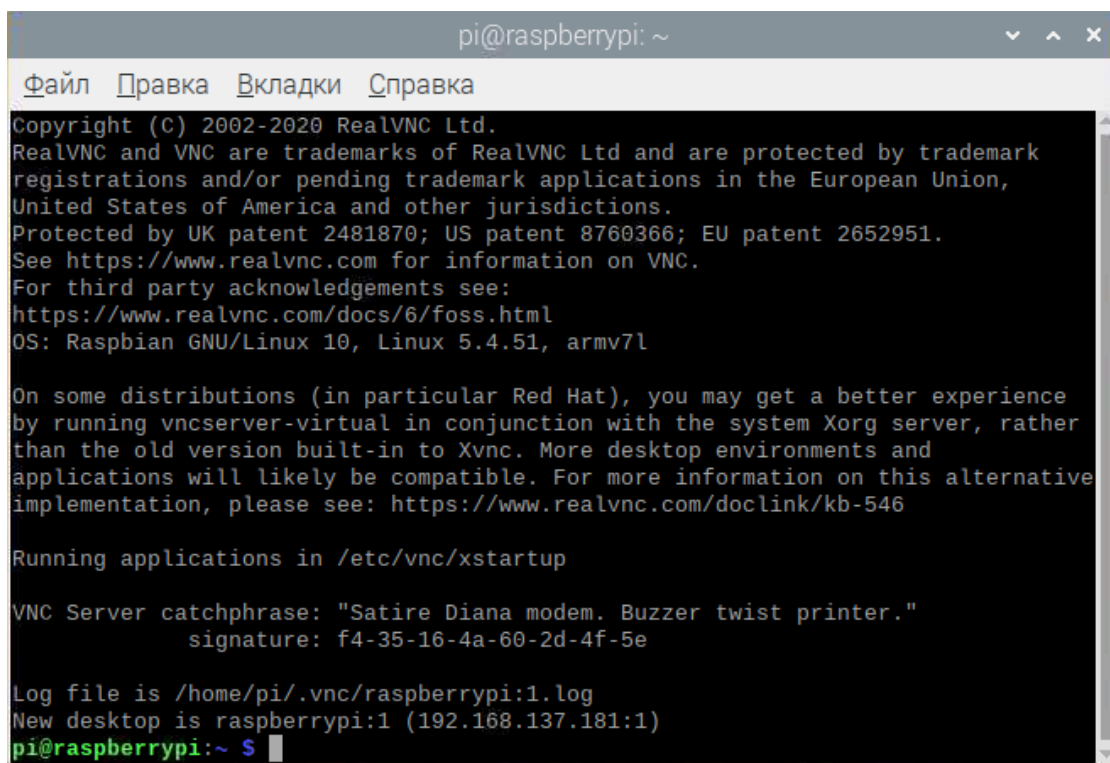


Рисунок 20 – Успешное включение VNC

5. Запустить VNC-сервер командой: `vncserver`, в результате выполнения команды будет сообщение об успешном запуске сервера с IP-адресом и номером порта (рисунок 21).



```
pi@raspberrypi: ~  
Файл Правка Вкладки Справка  
Copyright (C) 2002-2020 RealVNC Ltd.  
RealVNC and VNC are trademarks of RealVNC Ltd and are protected by trademark  
registrations and/or pending trademark applications in the European Union,  
United States of America and other jurisdictions.  
Protected by UK patent 2481870; US patent 8760366; EU patent 2652951.  
See https://www.realvnc.com for information on VNC.  
For third party acknowledgements see:  
https://www.realvnc.com/docs/6/foss.html  
OS: Raspbian GNU/Linux 10, Linux 5.4.51, armv7l  
  
On some distributions (in particular Red Hat), you may get a better experience  
by running vncserver-virtual in conjunction with the system Xorg server, rather  
than the old version built-in to Xvnc. More desktop environments and  
applications will likely be compatible. For more information on this alternative  
implementation, please see: https://www.realvnc.com/doclink/kb-546  
  
Running applications in /etc/vnc/xstartup  
  
VNC Server catchphrase: "Satire Diana modem. Buzzer twist printer."  
signature: f4-35-16-4a-60-2d-4f-5e  
  
Log file is /home/pi/.vnc/raspberrypi:1.log  
New desktop is raspberrypi:1 (192.168.137.181:1)  
pi@raspberrypi:~$
```

Рисунок 21 – Результат команды `vncserver`

Как можно видеть из рисунка, IP-адрес – 192.168.137.181, номер порта – 1. Теперь можно подключиться с персонального компьютера.

### 3.4.2 Подключение к удаленному рабочему столу

Для подключения к удалённому рабочему столу Raspberry Pi необходимо установить и настроить VNC-клиент.

1. Для этого необходимо перейти на сайт разработчиков «REALVNC» и выбрать версию среды в зависимости от операционной системы.

2. В адресную строку необходимо вбить IP-адрес, который мы получили при создании сервера и нажать Enter. Появится окно ввода логина и пароля (рисунок 22).

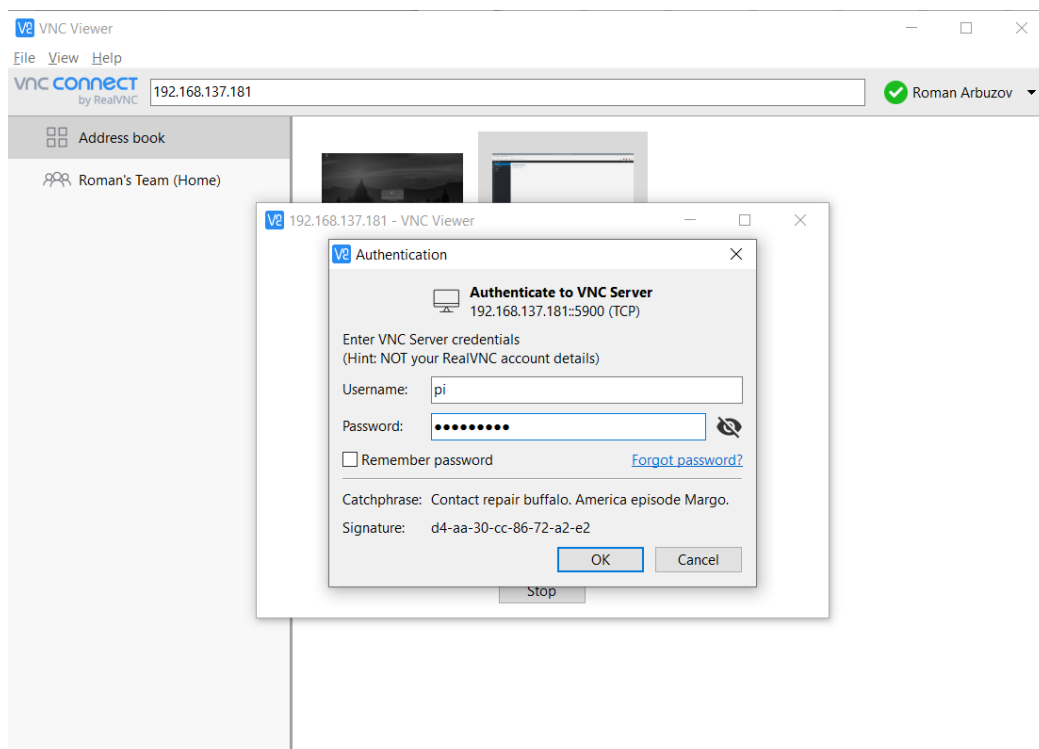


Рисунок 22 – Окно подключения

3. При правильном вводе появится удаленный рабочий стол и можно приступать к работе (рисунок 23).

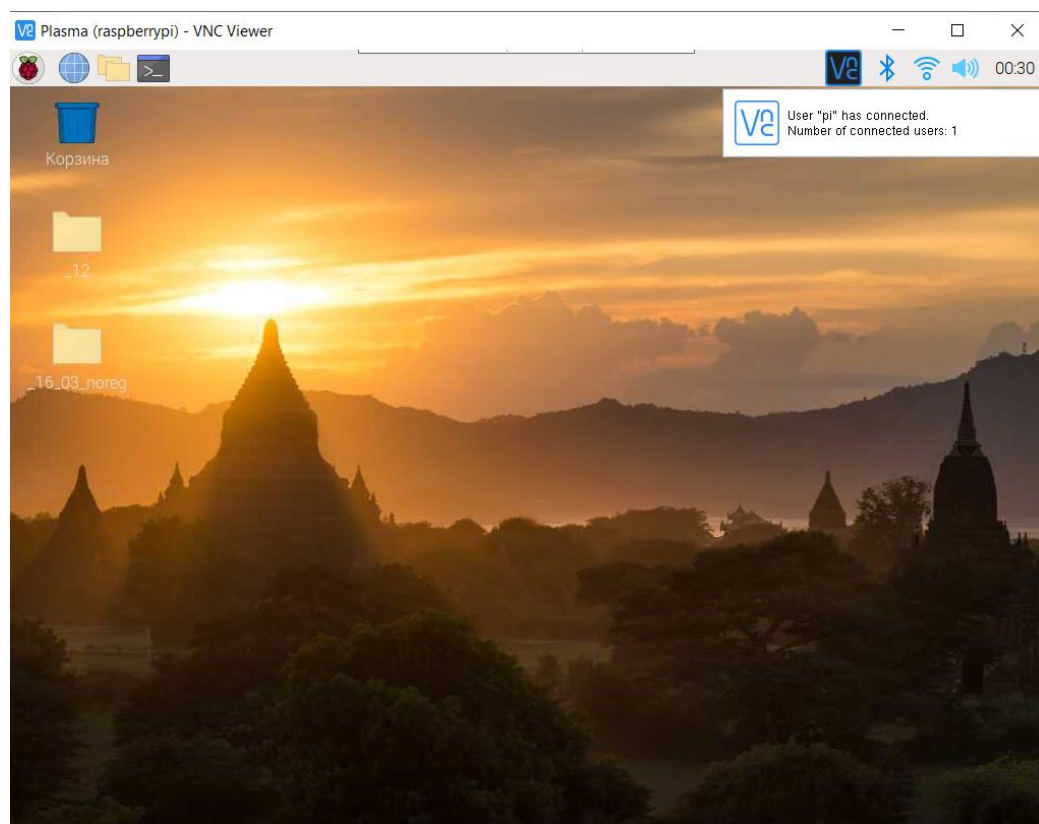
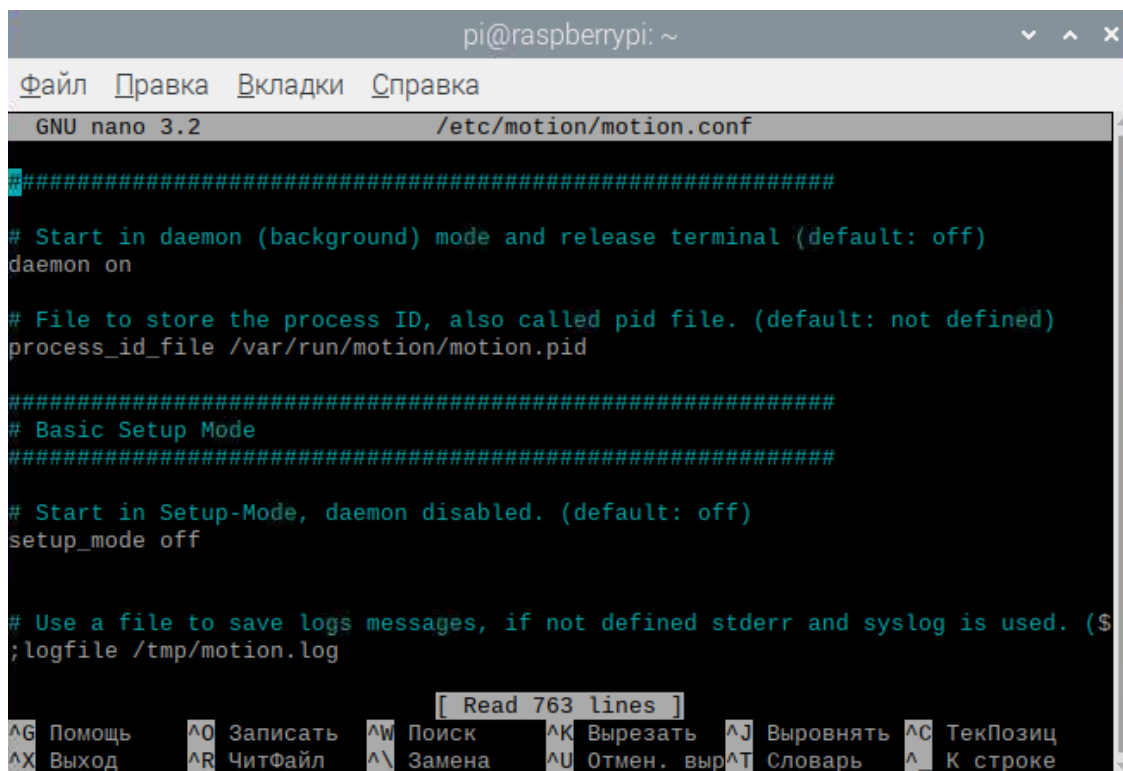


Рисунок 23 – Окно удаленного рабочего стола

### 3.4.3 Настройка видеосвязи

Для того, чтобы мы могли работать с нашей веб-камерой, нам необходимо установить из репозитория программное обеспечение motion. Делается это с помощью команды: `sudo apt-get install motion`.

После инсталляции программы motion, необходимо осуществить ее настройку. Открываем файл `motion.conf` с помощью команды: `sudo nano /etc/motion/motion.conf` (рисунок 24).



```
pi@raspberrypi: ~
Файл  Правка  Вкладки  Справка
GNU nano 3.2 /etc/motion/motion.conf
#####
# Start in daemon (background) mode and release terminal (default: off)
daemon on
# File to store the process ID, also called pid file. (default: not defined)
process_id_file /var/run/motion/motion.pid
#####
# Basic Setup Mode
#####
# Start in Setup-Mode, daemon disabled. (default: off)
setup_mode off
# Use a file to save logs messages, if not defined stderr and syslog is used. ($
;logfile /tmp/motion.log
[ Read 763 lines ]
^G Помощь  ^O Записать  ^W Поиск    ^K Вырезать  ^J Вывод     ^C ТекПозиц
^X Выход    ^R ЧитФайл  ^\ Замена  ^U Отмен. выр ^T Словарь  ^_ К строке
```

Рисунок 24 – Файл конфигурации

Для корректной работы необходимо заменить строки

DAEMON = OFF (меняем на ON)

Webcam\_localhost = ON (меняем на OFF)

Кроме того стоит изменить логин и пароль по умолчанию в строке `stream_authentication admin:password`.

Сохраняем изменения (CTRL + O и клавиша Enter) и закрываем файл (CTRL + X). Далее вводим: `sudo nano /etc/default/motion`, и в нем: `start_motion_daemon = no` (меняем на yes).

Запустить или остановить трансляцию можно с помощью команд: `sudo service motion start` и `sudo service motion stop`.

Для автоматического запуска необходимо добавить команду `motion` в конец программы автозапуска при помощи команды: `sudo nano /etc/rc.local`.

Теперь можно подключиться к трансляции по адресу `http://192.168.137.181:8081` (рисунок 25).

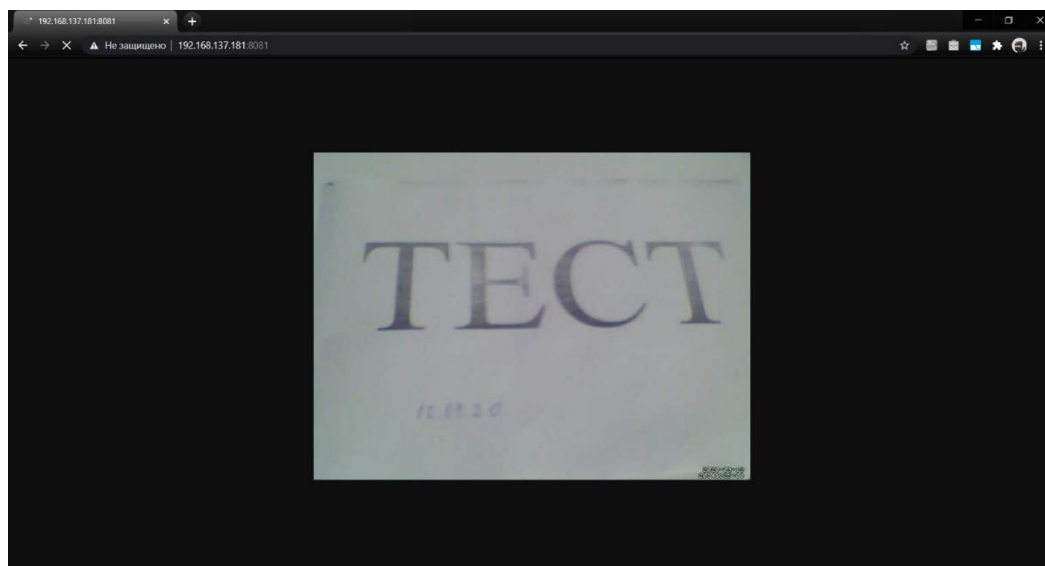


Рисунок 25 – Окно трансляции

#### **3.4.4 Обмен данными**

Для передачи данных между одноплатным компьютером и Arduino можно использовать COM-порт и смотреть данные в мониторе порта (рисунок 26) или использовать Ethernet shield W5100 (рисунок 27) для передачи данных с использованием протокола Ethernet. Также стоит отметить, что шилд позволяет записывать и читать данные с microSD-карты.



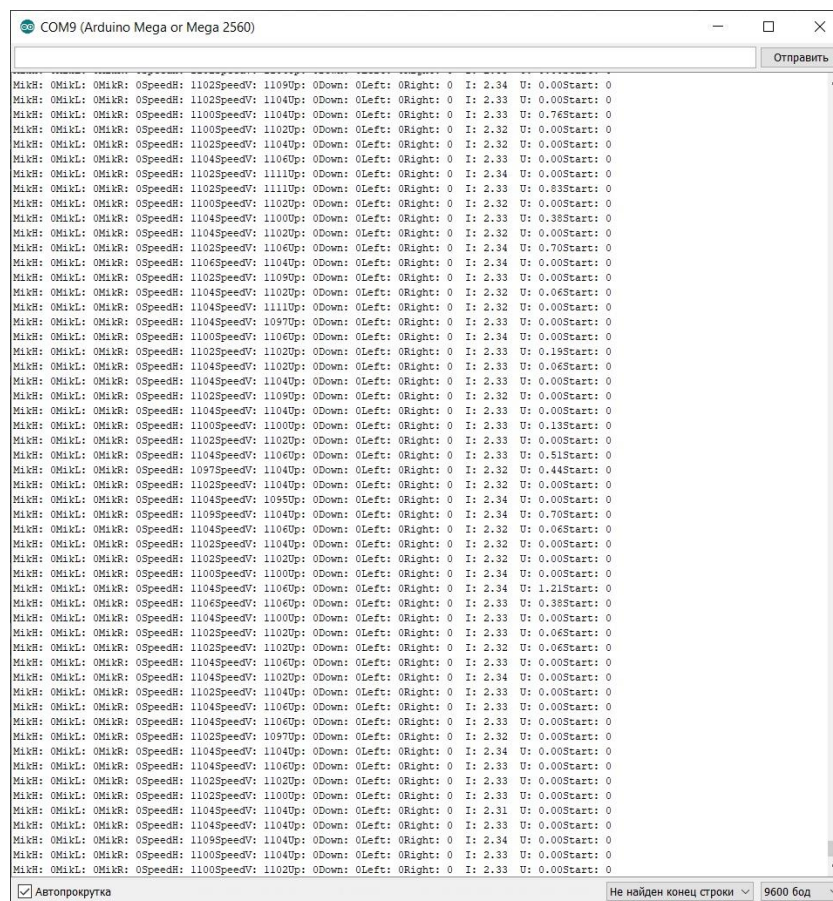


Рисунок 26 – Вывод данных на мониторе порта

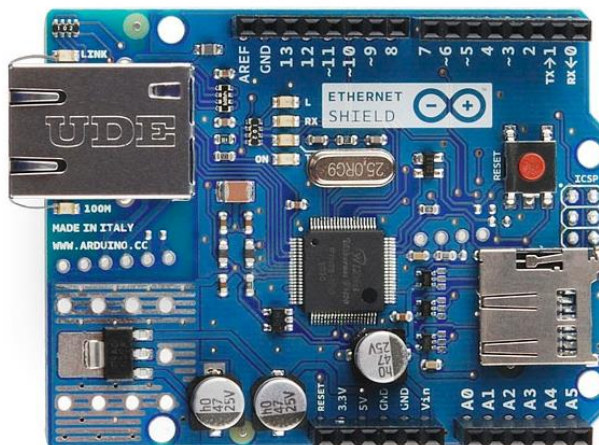


Рисунок 27 – Ethernet shield W5100

Для корректной работы с шилдом необходимо установить библиотеки Mudbus.h и Ethernet.h. Для работы с Arduino, необходимо указать MAC-адрес устройства, IP, шлюз и подсеть (рисунок 28).

```
uint8_t mac[]      = { 0xDE, 0x1D, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xEF };
uint8_t ip[]       = { 109, 123, 157, 210 };
uint8_t gateway[]  = { 109, 123, 157, 253 };
uint8_t subnet[]   = { 255, 255, 0, 0 };
Ethernet.begin(mac, ip, gateway, subnet);
```

Рисунок 28 – Инициирование устройства для работы с протоколом Ethernet

После настройки и прошивки устройство готово к работе.

### 3.5 SCADA система

Для работы со SCADA-системой необходимо предварительно подготовить Raspberry Pi: обновить репозитории и программные пакеты, разрешить передачу данных по I2C.

Все действия, а именно: написание кода, настройка визуализации, добавление новых устройств и прочее необходимо выполнять на ПК. Следует так же отметить, что данное программное обеспечение предназначено для работы с ПЛК и поддерживает написание программ, что в свою очередь позволяет снизить нагрузку на Arduino и использовать мощности Raspberry для выполнения расчетов или дополнительных действий. При помощи инструкций [27] была выполнена связь ПК и Raspberry, после чего необходимо было добавить в сеть Arduino [28]. После настройки сетевых параметров была написана простая программа для проверки работоспособности системы. Следующим шагом необходимо исключить ПК, для независимой работы системы. Для этого необходимо добавить Web визуализацию в проект, после чего на Raspberry SCADA открывается в браузере по адресу: <http://192.168.137.181/webwisu.htm>. В результате выполнения данной работы была создана SCADA система для управления установкой. Данная система упростила и сделала более понятными параметры для управления, кроме того появилась возможность тестирования системы и ее дальнейшее усовершенствование.

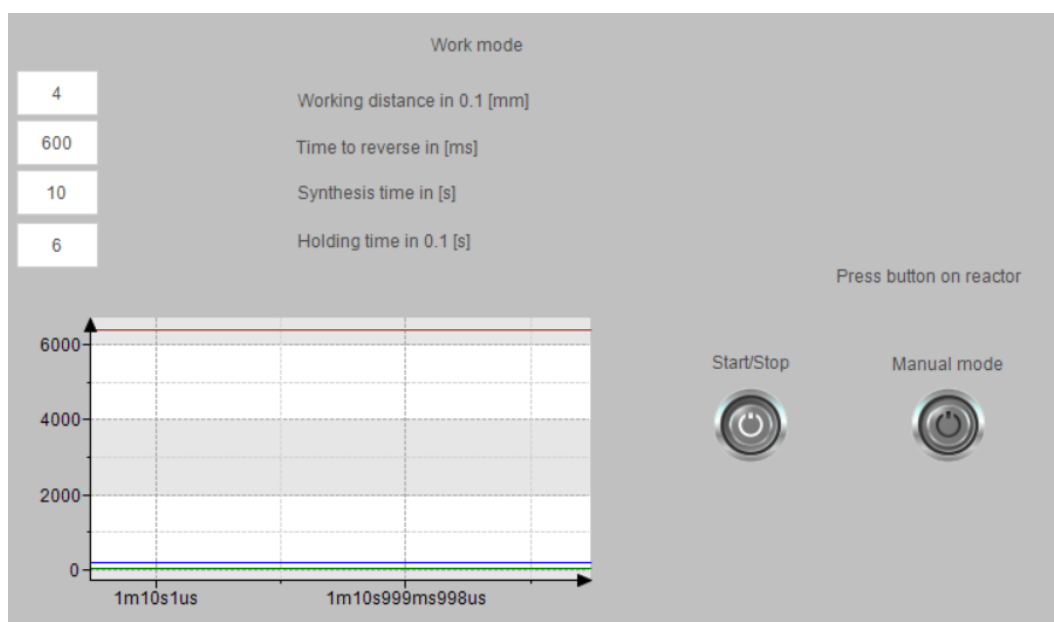


Рисунок 29 – SCADA система рабочий режим

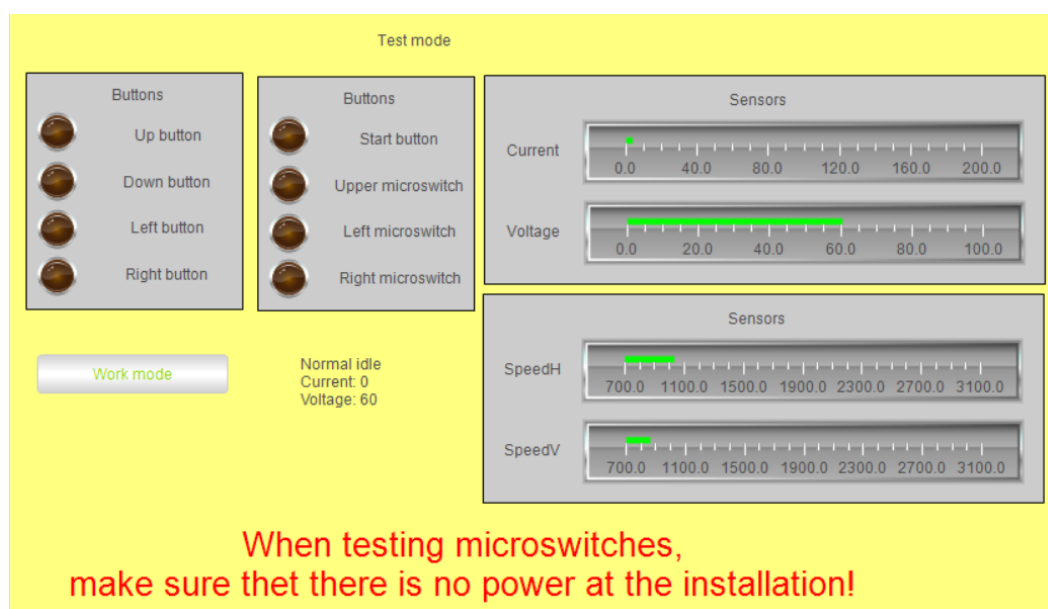


Рисунок 30 – SCADA система тестовый режим

На рисунках 29, 30 предоставлена SCADA система тестового и рабочего режимов. Данная SCADA позволяет устанавливать ручной и автоматический режим, с указанием параметров синтеза, а также тестовой, для проверки состояния элементов системы, таких как: датчики, кнопки, микропереключатели и другие. Кроме того, на экране рабочего режима изображен тренд по току, напряжению и мощности, однако, как видно, из-за больших значений мощности сложно оценить значения тока и напряжения.



Передача по Ethernet имеет свое преимущество в том, что данные передаются пакетами. Поэтому данный способ удобен для передачи параметров или, когда необходимо передать много данных. CoDeSys использует для передачи Ethernet протокол, а также позволяет строить тренды и работать с данными. В Arduino IDE есть встроенный монитор порта, который позволяет передавать данные через COM-порт (рисунок 9), однако при большом количестве данных и высокой дискретности передача данных таким способом будет слишком сильно замедлять работу Arduino. Таким образом, есть два способа решения данной задачи. Для повышения надежности на данном этапе используются оба способа, в дальнейшем, по мере увеличения количества контролируемых параметров, следует пересмотреть методы фиксации результатов.

### **3.6 Апробирование реактора**

После проведения всех работ реактор был запущен в эксплуатацию для определения преимуществ и недостатков после проведения работ. Основными рассматриваемыми пунктами проведения апробации были следующие:

1. удобство использования системы;
2. надежность срабатывания алгоритмов;
3. тест системы в различных режимах работы;
4. сравнение эффективности системы до и после модернизации.

Надежность и эффективность системы можно измерить численно, по числу успешных экспериментов, анализу полученных материалов, количеству материала и другим критериям. Удобство использования является субъективным параметром, поэтому при эксплуатации были привлечены несколько операторов, что позволит оценить данный параметр более корректно.

Система использовалась в трех режимах: ручном, полуавтоматическом и автоматическом. Всего было проведено 60 экспериментов на новой системе, по

20 в каждом режиме, для сравнения были взяты результаты до модернизации в 80 экспериментах. Результаты сравнения представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение систем и режимов работы реактора

Параметр	Режим	Старая система	Новая система
Надежность	Автоматический	Средняя	Высокая
Надежность	Полуавтоматический	-	Высокая
Надежность	Ручной	Низкая	Средняя
Удобство	Автоматический	Высокая	Высокая
Удобство	Полуавтоматический	-	Высокая
Удобство	Ручной	Низкая	Низкая
Эффективность	Автоматический	Низкая	Высокая
Эффективность	Полуавтоматический	-	Средняя
Эффективность	Ручной	Низкая	Средняя

Как видим из таблицы, модернизация значительно улучшила результаты работы реактора. Количество отказов (гашение дуги, нестабильный разряд, ложные срабатывания) до проведения работ составило 7 из 40 в автоматическом режиме и 23 из 40 в ручном режиме. Для новой системы количество отказов составляет 0 из 20 в автоматическом режиме, 1 из 20 в полуавтоматическом режиме и 4 из 20 в ручном режиме.

Автоматический и полуавтоматический режим оказались удобными для всех операторов. Управление понятное и никаких сложностей во время работы не возникало. В ручном режиме многие столкнулись с проблемой удержания дуги и разрядного промежутка. Полуавтоматический режим позволяет проводить нестандартные эксперименты, чтобы не прибегать к изменению алгоритма.

Эффективность системы после модернизации значительно выросла, Серийное проведение экспериментов позволяет ускорить процесс в несколько раз, поскольку не нужно каждый раз ставить новый тигель.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что модернизация системы значительно улучшила надежность и эффективность системы. Число отказов значительно уменьшилось, что также положительно влияет на качество получаемых материалов.

### 3.7 Вывод по главе 3

В ходе выполнения работ были проведены следующие работы:

1. настройка Raspberry Pi для удаленной работы, а также работы с Arduino и CoDeSys;
2. подключение удаленного рабочего стола, благодаря которому появилась возможность управлять процессом дистанционно;
3. установка видеосвязи для возможности удаленного контроля и в некоторых случаях для отладки работы реактора;
4. разработка SCADA-системы, которая позволяет понятно и удобно менять параметры синтеза;
5. реализация ручного управления для подстройки положения электродов относительно друг друга и для проведения нестандартных экспериментов;
6. заменена подвижная часть, в результате чего возможен синтез большего количества вещества и обработка в дальнейшем каких-либо поверхностей;
7. адаптирован программный код для управления и синтеза с использованием двух осей перемещения, кроме того, добавление третьей оси для использования не является трудоемкой задачей;
8. использовано готовое конструктивное решение, что облегчает возможность сборки подобной установки.

Благодаря настройке дистанционного управления появилась возможность удаленного управления и отладки реактора. Кроме того, настройка видеосвязи позволяет снимать видео в реакционной зоне и делать корпус закрытым.

Разработанная SCADA-система делает более наглядными настройку параметров синтеза и тестирование системы. Также есть возможность установки ограничения на параметры синтеза. Таким образом, SCADA-система значительно повышает удобство и простоту использования реактора.

Ручное управление позволяет управлять шаговыми двигателями, без зависимости от датчиков и настроек синтеза, а электрический привод проще и удобнее в управлении в отличие от механического.

Трехосевое позиционирование позволяет увеличить количество передаваемой энергии в реакторную зону и количество синтезируемого вещества.

В итоге была проведена значительная модернизация реактора, дистанционное управление позволяет проводить некоторые работы удаленно, а новая система позиционирования позволит не только увеличить количество производимой продукции за один эксперимент, но и упростит проведение серии экспериментов. Ранее, при проведении синтеза, была необходимость ждать, пока остынут электроды, теперь же появилась возможность поставить несколько готовых катодов в ряд, что значительно увеличит скорость проведения экспериментов.

По результатам проведенных работ была написана статья [29] и получен диплом 2 степени.

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Данный раздел определяет оценки коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения, а также планирование и формирование бюджета научных исследований, определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Научно-исследовательская работа направлена на модернизацию системы управления плазмохимического реактора постоянного тока для получения нанодисперсных материалов, например, таких как карбид кремния.

### **4.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Потенциальными потребителями результатов исследований являются предприятия, заинтересованные в использовании нанодисперсных материалов в своей продукции, а также лаборатории по исследованию таких материалов, кроме того данный реактор позволяет перерабатывать отходы, согласно исследованиям, плазменная переработка отходов является экологически чистой и позволяет перерабатывать практически любые виды твердых бытовых отходов.

В таблице 3 приведена сегментация рынка по следующим критериям: размер компании-заказчика и направление деятельности. Анализ рынка был проведен на основе фирм-производителей Westinghouse Plasma Corp (США), adaptiveARC (США), OCSiAl (Россия), FirstNano (США) и малые исследовательские лаборатории при вузах и предприятиях которые изучают свойства нанодисперсных материалов.

Таблица 3 – Карта сегментирования

Критерий		Направление деятельности		
		Синтез материалов	Плазменная утилизация отходов	Исследование материалов
Размер	Крупные	OCSiAl	Westinghouse Plasma Corp	
	Средние	FirstNano	adaptiveARC	
	Мелкие			Лаборатории при вузах

Таким образом, из карты сегментирования видно, что сегмент рынка по синтезу нанотрубок и плазменной утилизации отходов для мелких предприятий свободен. Кроме того, нет компаний, которые ведут разработки в обеих направлениях, однако исследованием материалов занимается множество различных лабораторий и в данной области уже слишком большая конкуренция.

## 4.2 Анализ QuaD

Технология QuaD (QUality ADvisor) это инструмент измерения характеристик, который описывает качество новой разработки, а также ее перспективность на рынке. Технология позволяет принимать решение о целесообразности вложения капитала в НИР. Технология может использоваться при проведении различных маркетинговых исследований, существенным образом снижая их трудоемкость и повышая точность и достоверность результатов. Оценочная карта представлена в таблице 4.

Таблица 4 - Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (3x2)
<b>Показатели оценки качества разработки</b>					
1.Удобство использования	0.09	90	100	0.9	6.75
2.Повторяемость процессов	0.12	97	100	0.97	11.64
3.Качество продукта	0.11	95	100	0.90	10.45
4.Стабильность процесса	0.10	94	100	0.94	9.4
5.Масштабируемость разработки	0.05	78	100	0.83	3.9
6.Безопасность	0.07	92	100	0.92	6.44
7.Объемы производства	0.04	97	100	0.97	3.88
8.Предоставляемые возможности	0.09	98	100	0.98	8.82
<b>Показатели оценки коммерческого потенциала разработки</b>					
1.Конкурентоспособность	0.10	76	100	0.76	7.6
2.Цена	0.09	89	100	0.89	8.01
3.Перспективность рынка	0.10	93	100	0.93	9.3
4.Уровень проникновения на рынок	0.04	91	100	0.91	3.64
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>91.18</b>

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{cp} = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $P_{cp}$  – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

$B_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$B_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Значение Пср позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя Пср получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 69 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Полученное значение Пср составляет 91.18, что свидетельствует о том, что такая разработка считается перспективной.

### 4.3 SWOT-анализ

Для исследования внутренних и внешних факторов, оценки рисков и конкурентоспособности был проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта – SWOT анализ.

Результаты SWOT-анализа приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	<b>Сильные стороны:</b> С1. Низкая стоимость. С2. Использование новой технологии. С3. Простота конструкции. С4. Охват нескольких сегментов рынка.	<b>Слабые стороны:</b> Сл1. Отсутствие фундаментальных знаний в области плазменной химии. Сл2. Отсутствие опыта внедрения на предприятия. Сл3. Отсутствие производственных испытаний.
<b>Возможности:</b> В1. Рост интереса к нанодисперсным материалам. В2. Исследования в области плазменной химии. В3. Узкая направленность разработок конкурентов. В4. Использование для синтеза различных материалов. В5. Быстрая перестройка установки.	Низкая стоимость и возможность быстрой перестройки установки в случае увеличения требований безопасности производств позволит быстро увеличить объем прибыли, расширить границы сбыта и клиентской базы, так как предприятиям будет необходимо быстро и с минимальными затратами соответствовать новым требованиям. Так как разработки конкурентов имеют узкую специализацию, а данная установка имеет больший функционал, то	Не смотря на отсутствие фундаментальных исследований, установка является достаточно многофункциональной, что в свою очередь позволяет проводить различные эксперименты и изучать данную область. Рост количества предприятий, где заинтересованы в использовании материалов с нанодисперсным покрытием и увеличение проблем, связанных с утилизацией отходов позволят получить опыт внедрения и произвести



## Продолжение таблицы 5 - Итоговая матрица SWOT-анализа

	данная разработка представляет больший интерес, поскольку компании заинтересованы в расширении влияния на рынок, а научные сообщества в возможности проведения большего количества экспериментов.	достаточное количество производственных испытаний. Для того, чтобы соответствовать новым требованиям безопасности, функциональные возможности данной системы позволяют заменять оборудование или программный код, вместо полной замены системы.
<b>Угрозы:</b> У1. Снижение стоимости разработок конкурентов У2. Распространение технологии. У3. Появление новых технологий.	Благодаря низкой стоимости и простоте конструкции, несмотря на снижение стоимости разработок конкурентов, разрабатываемая система может оказаться для предприятия более выгодной. Также, за счет раннего выхода на рынок, есть возможность уверенно закрепиться и захватить влияние в различных сегментах.	Так как данные технологии еще не имеют повсеместного распространения и находятся на стадии исследований, но уже сейчас используются для решения проблем, существует вероятность охвата других сегментов рынка, а новые технологии будут находиться только на стадии исследования. Кроме того вероятность того, что новые технологии будут радикально лучше, крайне мала.

Таким образом, благодаря своим сильным сторонам проект может реализовать все свои возможности. Низкая стоимость и энергоэффективность технологии позволяют использовать практически все возможности для развития разработки. С появлением первых клиентов такие слабые стороны, как отсутствие опыта внедрения на предприятия и отсутствие производственных испытаний будут устранены.

### 4.4 Оценка готовности разработки к коммерциализации

Одной из важных задач в ходе выполнения данного раздела является оценка готовности разработки к коммерциализации. Оцениваемыми параметрами являются как научная, так и коммерческая составляющая. Таблица 6 представляет собой бланк оценки степени готовности разработки к коммерциализации.

Таблица 6 – Бланк оценки степени готовности разработки к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности разработки	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	3
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	4	4
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	2	2
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	1
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	1
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	2
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	3
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	2
15.	Проработан механизм реализации разработки	4	4
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ:</b>	51	47

Как видно из таблицы, у значения находятся в диапазоне от 59 до 45, это означает, что перспективность данного проекта выше среднего. На данный момент, проект рассматривается по большей части как лабораторная установка для личного использования, и работы по анализу рынка не проводились. Многие пункты следует проработать более тщательно, особенно связанные с

выходом на рынок, поскольку слабый бизнес-план и недостаточное исследование рынка может повлиять на успешность дальнейшей коммерциализации проекта.

#### 4.5 Инициация разработки

В рамках инициации разработки формулируются цели и ожидаемые результаты работы. Также определяются заинтересованные стороны разработки и возможные ограничения. Заинтересованные в данной разработке стороны представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Заинтересованные стороны разработки

<b>Заинтересованные стороны</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Центр Экоэнергетика 4.0	Получение установки для переработки отходов в синтез-газ и другие полезные материалы
Научные сообщества в области исследования нанодисперсных материалов	Получение бюджетной установки для синтеза нанодисперсных материалов

Цели и результаты проекта отображены в таблице 8.

Таблица 8 – Цели и результаты разработки

<b>Цели разработки:</b>	Реализация систем мониторинга рабочих режимов, систем поддержания стабильной электрической мощности на дуге в условиях изменения величины разрядного промежутка в электродуговом реакторе совмещенного типа.
<b>Ожидаемые результаты разработки:</b>	1) Поддержание дугового разряда при эрозии электрода 2) Мониторинг параметров в реакционной зоне
<b>Критерии приемки результата разработки:</b>	Система должна обеспечивать: 1) Вывод параметров; 2) Поддержание мощности в заданном диапазоне; 3) Точность показаний
<b>Требования к результату разработки:</b>	<b>Требования:</b>
	1) Бесперебойная работа системы
	2) Погрешность показаний не более 15%
	3) Импорт показаний в текстовые файлы или таблицы

В таблице 9 представлена рабочая группа разработки, определена роль и основные функции каждого участника в разработке.

Таблица 9 – Рабочая группа разработки

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в разработке	Функции	Трудо-затраты, час.
1.	Пак Александр Яковлевич, ТПУ ОАР ИШИТР, доцент	Научный руководитель	Утверждение основных разделов, выдача заданий к исполнению, координирование деятельности исполнителя	32
2.	Герасимов Роман Дмитриевич, ТПУ ОАР ИШИТР, магистрант гр. 8ТМ91	Исполнитель	Исполнение поставленных задач	257
ИТОГО:				289

Данный раздел отражает тот факт, что выполняемая работа имеет довольно большой объем. Заинтересованные стороны проекта ожидают достаточно высококачественные результаты, которые необходимо достичь исполнителю.

## 4.6 Планирование научно-исследовательских работ

### 4.6.1 Иерархическая структура работ

Иерархическая структура работ для данной разработки представляет собой детализацию укрупненной структуры работ, продемонстрированной на рисунке 31.

Задачи по созданию данной разработки разделены на три основных блока: теоритические исследования, проектирование и модернизация системы, а также тестирование и апробация системы. Основная часть работ фокусируется на замене системы позиционирования и адаптации программного кода для новой системы.

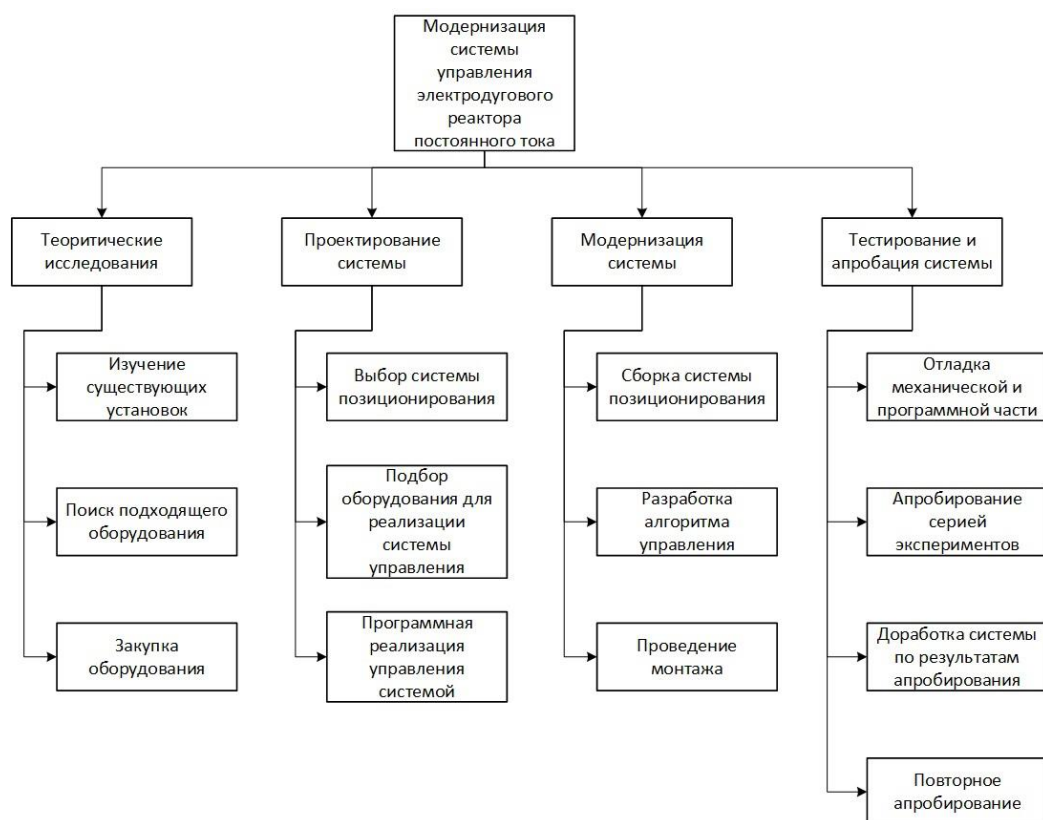


Рисунок 31 – Иерархическая структура работ по проведению разработки

#### 4.6.2 План разработки

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для реализации проекта необходимы исполнители в лице руководителя и инженера. Перечень работ, длительность и исполнители приведены в таблице 10.

Таблица 10 - Календарный план разработки

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение технического задания	5	14.10.20	18.10.20	Пак А.Я.
2	Обзор научно-технической литературы	20	19.10.20	07.11.20	Герасимов Р.Д.
3	Изучение существующих систем	18	09.11.20	26.11.20	Герасимов Р.Д.
4	Календарное планирование работ по теме	3	27.11.20	29.11.20	Пак А.Я. Герасимов Р.Д.
5	Подбор компонентов для модернизации системы	25	30.11.20	24.12.20	Герасимов Р.Д.
6	Сборка и отладка работы блока управления реактора	43	25.12.20	5.02.21	Герасимов Р.Д.
7	Создание алгоритма и реализация программы	30	06.02.21	07.03.21	Герасимов Р.Д.
8	Апробирование реактора на реальных экспериментах	14	08.03.21	21.03.21	Пак А.Я. Герасимов Р.Д.
9	Оценка полученных результатов	12	22.03.21	01.04.21	Пак А.Я.
10	Корректировка программы с учетом полученных результатов	16	02.04.21	17.04.21	Герасимов Р.Д.
11	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности проекта	28	18.04.21	15.05.21	Герасимов Р.Д.
12	Составление пояснительной записки	15	16.05.21	30.05.21	Герасимов Р.Д.
<b>Итого:</b>		229			

#### 4.6.3 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (2)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где  $T_{p_i}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$\text{Ч}_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Наиболее удобной и наглядной формой представления графика проведения работ является ленточный график в форме диаграммы Ганта. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -ой работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,22, \quad (5)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Полученные данные сведены в таблицу 11.

Таблица 11 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работы						Длительность работы в рабочих днях, T <sub>pi</sub>		Длительность работы в календарных днях, T <sub>ki</sub>	
	t <sub>min</sub> , чел- дни		t <sub>max</sub> ,чел- дни		t <sub>ож</sub> , чел- дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Составление и утверждение технического задания	3		6		4.2	0	4.2	0	5.124	0
Обзор научно- технической литературы		15		21	0	17.4	0	17.4	0	21.228
















Продолжение таблицы 11 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работы						Длительность работы в рабочих днях, T <sub>pi</sub>		Длительность работы в календарных днях, T <sub>ki</sub>	
	t <sub>min</sub> , чел- дни		t <sub>max</sub> , чел- дни		t <sub>ож</sub> , чел- дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
Изучение существующих систем		16		19	0	17.2	0	17.2	0	20.984
Календарное планирование работ по теме	2	1	4	3	2.8	1.8	1.4	0.6	1.708	0.732
Подбор компонентов для модернизации системы		23		26	0	24.2	0	24.2	0	29.524
Сборка и отладка работы блока управления реактора		40		44	0	41.6	0	41.6	0	50.752
Создание алгоритма и реализация программы		25		31	0	27.4	0	27.4	0	33.428
Апробирование реактора на реальных экспериментах	8	3	15	5	10.8	3.8	5.4	1.9	6.588	2.318
Оценка полученных результатов	7		13		9.4	0	9.4	0	11.468	0
Корректировка программы с учетом полученных результатов		12		17	0	14	0	14	0	17.08
Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности проекта		25		29	0	26.6	0	26.6	0	32.452
Составление пояснительной записки		12		16	0	13.6	0	13.6	0	16.592
Итого					27.2	187.6	20,4	184.5	24.888	225.09

#### **4.6.4 Разработка графика проведения научного исследования**

На основе полученной таблицы строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ с разбивкой по месяцам и декадам. График работ приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Календарный план-график выполнения проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ																							
				октяб.			нояб.			декаб.			январ.			февр.			март			апр.			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руков.	5																								
2	Обзор научно-технической литературы	Инженер	21																								
3	Изучение существующих систем	Инженер	21																								
4	Календарное планирование работ по теме	Руков., инж.	2, 1																								
5	Подбор компонентов для модернизации системы	Инженер	29																								
6	Сборка и отладка работы блока управления реактора	Инженер	51																								
7	Создание алгоритма и реализация программы	Инженер	33																								
8	Апробирование реактора на реальных экспериментах	Руков., инж.	7, 2																								
9	Оценка полученных результатов	Руководитель	11																								
10	Корректировка программы с учетом полученных результатов	Инженер	17																								
11	Проведение технико-экономических расчетов и оценка безопасности проекта	Инженер	32																								
12	Составление пояснительной записки	Инженер	16																								



– руководитель



– инженер

## 4.7 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

### 4.7.1 Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m \Pi_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида;

$\Pi_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов;

$k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Материальные затраты приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Ноутбук ASUS X550C	Шт.	1	38415	38415
Микрокомпьютер Raspberry Pi 3 Model B+	Шт.	1	3950	3950
Коммутатор TP-LINK TL-SF1005D	Шт.	1	450	450
7" IPS дисплей для Raspberry Pi	Шт.	1	3690	3690
Источник питания Condor Colt 220	Шт.	1	7120	7120
Осциллограф TBS1052B	Шт.	1	46000	46000
Датчик тока Honeywell CSLA1DJ	Шт.	2	3330	6660
Кабель КГ 1х16	Шт.	3	103	309
Магнитный пускатель 25 А	Шт.	1	600	600
Вводной автомат 32 А	Шт.	1	100	100
Кнопки: пуск, стоп, разблокировка, аварийный стоп	Шт.	4	259	1036
Твердотельное реле	Шт.	1	750	750

Продолжение таблицы 13 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед.,руб.	Сумма, руб.
Контроллер Arduino Mega	Шт.	2	890	1780
Стеклотекстолит 5 мм (980х980)	Шт.	9,4	154.46	1451.93
Стеклотекстолит 1 мм (980х980)	Шт.	2	318.01	636.02
Провод монтажный 0,5 кв	Шт.	20	22	440
Дин-рейка	Шт.	1	125	125
Кнопка Пуск (старт программы)	Шт.	1	33	33
Кнопки ручного управления	Шт.	6	33	198
Провод гибкий монтажный	Шт.	20	25	500
Провод гибкий двужильный	Шт.	2	65	130
Преобразователь 220 АС - 5 DC	Шт.	2	590	1180
Корпус	Шт.	1	31800	31800
Основание станка ЧПУ с шаговыми двигателями	Шт.	1	15950	15950
Драйвер шагового двигателя TB6600	Шт.	3	940	2820
Преобразователь 220 АС - 12 DC	Шт.	1	980	980
Провода мама-папа	Шт.	1	240	240
Провода папа-папа	Шт.	1	240	240
Ethernet шилд w5100	Шт.	2	500	1000
Провода Ethernet	Шт.	3	200	600
Защитное стекло Хамелеон	Шт.	1	2600	2600
Фанера 6 мм, лист	Шт.	1	400	400
Болты под шестигранник М3 и М6 с гайками и шайбами	Шт.	50	10	500
Уголки для крепления под М3 и под М6	Шт.	10	20	200
Всего за материалы				172883.95
Транспортно-заготовительные расходы (3%)				5186.52
Итого				178070.47

#### 4.7.2 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, и дополнительную заработную плату:

$$З_{ЗП} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (7)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;

$З_{доп}$  – дополнительная заработная плата (12-20% от основной).

Основная заработная плата руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (8)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;

$З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Среднедневная зарплата рассчитывается по формуле:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (9)$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10.4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Баланс рабочего времени приведен в таблице 14.

Таблица 14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней -выходные дни	52	52
-праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени (отпуск/невыходы по болезни)	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$З_{\text{м}} = З_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (10)$$

где  $З_{\text{тс}}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, равный 1.3 для Томска.

$k_{\text{пр}}$  (премиальный коэффициент) и  $k_{\text{д}}$  (коэффициент доплат) в данных расчетах не применяются.

Расчет основной платы представлен в таблице 15.

Таблица 15 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад	$k_{\text{пр}}$	$k_{\text{д}}$	$k_{\text{р}}$	$З_{\text{м}}$ , руб	$З_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$З_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	33664	-	-	1.3	43763.2	1813.3	20.4	36991.32
Инженер	21760	-	-	1.3	28288	1172.09	184.5	216250.6
Итого:								253241.92

#### 4.7.3 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}, \quad (11)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы, на стадии проектирования принимается равным 0.12. Расчеты дополнительной заработной платы представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет дополнительной заработной платы

Исполнители	$З_{\text{осн}}$ , руб.	$k_{\text{доп}}$	$З_{\text{доп}}$ , руб.
Руководитель	36991.32	0.12	4438.96
Инженер	216250.6	0.12	25950.07
Итого:			30389.03

#### 4.7.4 Отчисление во внебюджетные фонды

В данной статье отражаются обязательные отчисления по установленным законодательствам Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда и медицинского страхования.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (12)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  - коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

Расчет отчислений приведен в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная з/п, руб.	Дополнительная з/п, руб.	Коэффициент отчислений	Отчисления
Руководитель	36991.32	4438.96	0.3	12429.08
Инженер	216250.6	25950.07		72660.2
Итого:				85089.28

#### 4.7.5 Накладные расходы

В накладные расходы должны быть включены те затраты организации, которые не попали в предыдущие статьи расходов: оплата электроэнергии, услуг связи, размножение материалов, печать и ксерокопирование материалов и т.д.

Накладные расходы определяются по следующей формуле:



$$З_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (13)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы, 16 %.

Получим:

$$З_{\text{накл}} = 0.16 \cdot (253241.92 + 30389.03) = 45380.95 \text{ руб}$$

Таким образом, накладные расходы составили 45380.95 рублей.

#### **4.7.6 Прямые затраты**

В этих расходах нужно посчитать затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием. Для этого нужно узнать мощность, время использования оборудования и рассчитать затраты.

Стоимость 1 кВт – составляет 3.66 руб.

Средняя мощность, потребляемая электрооборудованием во время работы, – 241 Вт.

Время использования электрооборудования составляет 696 часов.

Тогда затраты на электроэнергию составят:

$$З_{\text{эн}} = 0.241 \cdot 696 \cdot 3.66 = 613.91 \text{ руб.}$$

Таким образом, прямые расходы составили 613.91 рублей.

#### **4.7.7 Расчет амортизационных отчислений**

Для проведения исследований использовалось дорогостоящее оборудование, такое как: осциллограф, ноутбук и корпус. Срок полезного использования ноутбука составляет 3 года, для осциллографа и корпуса – 5 лет.

Рассчитаем сумму амортизации для ноутбука.

Норма амортизации:

$$А_n = \frac{1}{n} \cdot 100\% = \frac{1}{3} \cdot 100\% = 33.33\% \quad (14)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$А_g = 38415 \times 0.33 = 12676.95 \text{ рублей} \quad (15)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = 12676.95/12 = 1056.41 \text{ рублей} \quad (16)$$

Таким образом затраты на амортизацию ПК составляют 12676.95 рублей

Рассчитаем амортизацию для осциллографа и корпуса.

Норма амортизации:

$$A_n = \frac{1}{n} * 100\% = \frac{1}{5} * 100\% = 20\% \quad (17)$$

Годовые амортизационные отчисления:

$$A_g = (46000 + 31800) \times 0.2 = 15560 \text{ рублей} \quad (18)$$

Ежемесячные амортизационные отчисления:

$$A_m = 15560/12 = 1296.67 \text{ рублей} \quad (19)$$

Таким образом затраты на амортизацию составляют 15560 рублей.

Итоговые отчисления на амортизацию оборудования составляют 28236.95 рублей.

#### **4.7.8 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции

Определение бюджета затрат приведено в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет бюджета НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты НТИ	178070.47
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	253241.92
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	30389.03
4. Отчисление во внебюджетные фонды	85089.28
5. Накладные расходы	45380.95

Продолжение таблицы 18 – Расчет бюджета НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб
6. Прямые расходы	613.91
7. Амортизационные отчисления	28236.95
8. Бюджет затрат НТИ	621022.51

#### 4.8 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального финансового показателя, определяемого по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (20)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп.i}}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{\text{pi}}$  – стоимость i-го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{исп1}} = \frac{621022.51}{621022.51} = 1 \quad (21)$$

Для сравнения используем комплектацию, которая была до модернизации, ключевые изменения представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Изменения материальных затрат

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед.,руб.	Сумма, руб.
Линейный привод шагового двигателя	Шт.	1	1560	1560
Драйвер шагового двигателя А4988	Шт.	1	290	290
Всего за материалы за вычетом отсутствующего оборудования				147143.95
Транспортно-заготовительные расходы (3%)				4414.32
Итого				151558.27

$$I_{\text{исп2}} = \frac{594510.31}{621022.51} = 0.957 \quad (22)$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{\text{pi}} = \sum a_i \cdot b_i \quad (23)$$

где  $I_{\text{pi}}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Сравнительный анализ приведен в таблице 20.

Таблица 20 – Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии	Весовой коэффициент	Исп. 1	Исп. 2
Простота эксплуатации	0.15	5	4
Ремонтопригодность	0.14	5	5
Надежность	0.16	5	4
Энергоэкономичность	0.16	4	4
Помехоустойчивость	0.18	5	4
Безопасность	0.14	5	4
Потребность в ресурсах памяти	0.07	4	4
ИТОГ	1	33	28

$$I_{\text{р-исп1}} = 0.15 \cdot 5 + 0.14 \cdot 5 + 0.16 \cdot 5 + 0.16 \cdot 4 + 0.18 \cdot 5 + 0.14 \cdot 5 + 0.07 \cdot 4 = 4.77$$

$$I_{\text{р-исп2}} = 0.15 \cdot 4 + 0.14 \cdot 5 + 0.16 \cdot 4 + 0.16 \cdot 4 + 0.18 \cdot 4 + 0.14 \cdot 4 + 0.07 \cdot 4 = 4.14$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{I_{\text{р-исп2}}}{I_{\text{финр}}} = \frac{4.14}{0.957} = 4.32 \quad (24)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} = \frac{4.77}{4.32} = 1.104 \quad (25)$$

Результаты расчета показателей сведены в таблицу 21.

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработок

Показатель	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный финансовый показатель	1	0.957
Интегральный показатель ресурсоэффективности	4.77	4.14
Интегральный показатель эффективности	4.77	4.32
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	$\mathcal{E}_{12}=1.104$	

Исходя из полученных данных сравнения финансовой и ресурсной эффективности различных вариантов исполнения, несколько более эффективным является первый вариант исполнения.

#### 4.9 Вывод по главе 4

В результате проведения исследования по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» были определены показатели затрат научно-исследовательской работы.

Также была создана карта сегментирования, из анализа которой было выявлено, что сегмент рынка по синтезу нанотрубок и плазменной утилизации отходов для мелких предприятий свободен.

Помимо этого, была составлена оценочная карта. Из-за некорректности сравнения мелких и крупных предприятий, а также отсутствия аналогов на данном сегменте рынка, была использована технология QuaD. Из оценочной карты был сделан вывод о том, что разрабатываемая система считается

перспективной.

Были определены сильные и слабые стороны системы, ее угрозы и возможности, и исходя из этих характеристик были разработаны 4 стратегии.

Было произведено планирование научно-исследовательских работ.

В конце была проведена сравнительная оценка различных вариантов исполнения системы, и было выяснено, что, исходя из полученных данных сравнения финансовой и ресурсной эффективности различных вариантов исполнения, несколько более эффективным является первый вариант исполнения.

## **5 Социальная ответственность**

В разделе рассматриваются правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, производится анализ опасных и вредных производственных факторов, оказывающих влияние на производственную деятельность обслуживающего персонала, а также поднят вопрос влияния объекта исследования на окружающую среду.

Объектом исследования и разработки является плазмохимический реактор постоянного тока. В состав системы входят: шаговые двигатели, твердотельное реле, трансформаторы напряжения, силовой источник питания, осциллограф, датчики, контроллер и драйверы.

Потенциальными потребителями проектного решения являются предприятия, производящие и исследующие нанодисперсные материалы. Также данную систему можно использовать для утилизации отходов. Управление реактором должно осуществляться за счет перемещения верхнего электрода до соприкосновения двух графитовых электродов, между которыми поджигается дуговой разряд постоянного тока, управление системой производится с помощью программы. Сборка системы производилась в лабораторных условиях.

### **5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

В подразделе рассмотрены специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

Также тезисно приводятся основные эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны исследователя, проектируемой рабочей зоны в производственных условиях для создания комфортной рабочей среды.

### **5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства**

Согласно «Трудовому кодексу Российской Федерации» от 30.12.2001 №197-ФЗ (ред. от 30.04.2021), рабочее время - время, в течение которого работник в соответствии с правилами внутреннего трудового распорядка и условиями трудового договора должен исполнять трудовые обязанности, а также иные периоды времени, которые в соответствии с настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации относятся к рабочему времени [30]. (в ред. Федерального закона от 30.06.2006 N 90-ФЗ)

В компании, где предполагается использование разрабатываемой системы, нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю.

Порядок исчисления нормы рабочего времени на определенные календарные периоды (месяц, квартал, год) в зависимости от установленной продолжительности рабочего времени в неделю определяется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере труда [30]. (часть третья введена Федеральным законом от 22.07.2008 N 157-ФЗ). Работодатель обязан вести учет времени, фактически отработанного каждым работником.

### **5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.**

Управление разрабатываемой системой предполагает наличие оператора, который взаимодействует с ней через пульт управления в положении сидя.

Поэтому рабочее место должно быть организовано с учетом эргономических требований [31]:

- конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места (органы управления, средства отображения информации и т.д.) должны



соответствовать антропометрическим, физиологическим и психологическим требованиям, а также характеру работы.

- рабочее место должно быть организовано в соответствии с требованиями стандартов, технических условий и (или) методических указаний по безопасности труда;
- рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля;
- выполнение трудовых операций "часто" и "очень часто" должно быть обеспечено в пределах зоны легкой досягаемости и оптимальной зоны моторного поля;
- при проектировании оборудования и организации рабочего места следует учитывать антропометрические показатели женщин (если работают только женщины) и мужчин (если работают только мужчины); если оборудование обслуживают мужчины и женщины - общие средние показатели мужчин и женщин;
- организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или наклон его вперед не более чем на  $15^\circ$ ;
- дисплей на рабочем месте оператора должен располагаться так, чтобы изображение в любой его части было различимо без необходимости поднять или опустить голову;
- дисплей на рабочем месте должен быть установлен ниже уровня глаз оператора. Угол наблюдения экрана оператором относительно горизонтальной линии взгляда не должен превышать  $60^\circ$ .

## **5.2 Производственная безопасность**

В пункте проанализированы вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации проектируемого решения.

Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды необходимо представлены в таблице 22 [32].

Таблица 22 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Вид работы			Нормативные документы
	Разработка	Изготовление	Эксплуатация	
1.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	1. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. 2. СанПиН 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. 3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. 4. СанПиН 2.2.4.3359–16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. 5. ГОСТ 12.1.030-81 (ССБТ). Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление. 6. ГОСТ 12.0.003-2015 (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы
2.Повышенная яркость света	-	-	+	
3.Повышенный уровень шума на рабочем месте	-	+	+	
4.Термическая опасность	-	+	+	
5.Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	-	+	+	
6.Недостаточная освещенность рабочего места	-	-	-	

### 5.2.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

#### 1) Микроклимат

Основные виды работ, выполняемыми оператором, по степени физической тяжести, можно отнести к категории легких работ. В таблице 23 приведены оптимальные и допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений для оператора [33].

Таблица 23 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Температура воздуха, С <sup>0</sup>	Температура поверхностей, С <sup>0</sup>	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	(21 – 23)	(20 – 24)	(40 – 60)	0.1
Теплый	(23 – 25)	(22 – 26)	(40 – 60)	0.1

Профилактика перегрева организма работника в нагревающем микроклимате включает следующие мероприятия:

- нормирование верхней границы внешней термической нагрузки на допустимом уровне применительно к восьмичасовой рабочей смене;
- регламентация продолжительности воздействия нагревающей среды для поддержания среднесменного теплового состояния на оптимальном или допустимом уровне;
- использование специальных средств коллективной и индивидуальной защиты, уменьшающих поступление тепла извне к поверхности тела человека и обеспечивающих допустимый тепловой режим.

Защита от охлаждения осуществляется посредством:

- одежды, изготовленной в соответствии с требованиями государственных стандартов;
- использования локальных источников тепла, обеспечивающие сохранение должного уровня общего и локального теплообмена организма;
- регламентации продолжительности непрерывного пребывания на холоде и продолжительности пребывания в помещении с комфортными условиями.

## 2) Повышенная яркость света

Дуговой разряд постоянного тока сопровождается мощной лучистой и тепловой энергией. Тепловая энергия способна вызвать поражение глаз и ожоги незащищенных частей тела. Яркость электрической дуги превышает 1600

стильб. Нормальное зрение человека способно воспринимать безболезненно яркость не более одного стильба [34].

Вредное воздействие оказывает не только видимые световые лучи, но и невидимые лучи. Они вызывают воспаление слизистой оболочки глаза, если действуют в течении (10 – 30 с) на расстоянии до 1 м от источника излучения, а более 30 с - до 5 м. Результат действия - резкая боль в глазах, светобоязнь, электроофтальмия. На незащищенных частях тела лучистая и тепловая энергия вызывает покраснение и ожоги различной степени, в зависимости от расстояния до источника излучения.

Для защиты лица оператора во время выполнения синтеза закрывается щитком, в смотровое отверстие которого вставлен светофильтр по ГОСТ Р 12.4.254-2013 [35]. Защита от инфракрасного излучения может быть обеспечена сокращением времени пребывания в зоне воздействия теплового излучения.

### 3) Повышенный уровень шума на рабочем месте

Шум – это совокупность различных шумов, возникающих в процессе производства и неблагоприятно воздействующих на организм. Шум может привести к нарушениям слуха (в случае постоянного нахождения при шуме более 85 децибел(dB)), а также может быть фактором стресса и повысить систолическое кровяное давление. Дополнительно, он может способствовать несчастным случаям, маскируя предупреждающие сигналы и мешая сконцентрироваться.

Шум может взаимодействовать с другими факторами угрозы на производстве, увеличивая риск для работников.

Согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96, в производственных помещениях при выполнении основных и вспомогательных работ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами. Так, согласно СанПиН 2.2.4/2.1.8.562-96

при напряженности труда легкой степени предельно допустимые уровни звука составляют 80 дБА [36].

Снизить уровень шума можно при помощи звукопоглощающих материалов, предназначенных для отделки стен и потолка помещений. Кроме того на производстве также используются противошумные наушники.

#### 4) Повышенное значение напряжения в электрической цепи

Напряжение – это величина, характеризующая силу электрической энергии при движении электрического заряда.

В соответствии с п.1.1.13 главы 1.1 раздела 1 Правил устройства электроустановок (ПУЭ) по опасности электропоражения помещение, в котором проводятся работы, относится к помещениям без повышенной опасности. Это обусловлено отсутствием высокой влажности, высокой температуры, токопроводящей пыли и возможности одновременного соприкосновения с заземленными предметами и металлическими корпусами оборудования. Во время нормального режима работы оборудования, опасность электропоражения крайне мала, однако, возможны аварийные режимы работы, когда происходит случайное электрическое соединение частей оборудования, находящегося под напряжением с заземленными конструкциями [37].

Мероприятия по устранению опасности поражения электрическим током сводятся к правильному размещению оборудования и применению технических средств защиты. В соответствии с главой 1.7 ПУЭ к основным техническим средствам защиты от поражения электрическим током относятся:

- основная изоляция токоведущих частей;
- защитное заземление или зануление;
- автоматическое отключение питания;
- защитное электрическое разделение цепей;
- защитные ограждения (временные или стационарные);
- безопасное расположение токоведущих частей.

#### 5) Термическая опасность

Температура — это физическая величина, характеризующая степень нагретости тел.

Тепловым излучением называется процесс, при котором теплота излучения распространяется в основном в форме инфракрасного излучения с длиной волны около 10 мм. Источниками тепловых излучений являются все тела, нагретые до температуры выше температуры окружающей среды. В условиях производства источниками тепловых излучений могут быть электроды.

Основные последствия термических опасностей для данного объекта исследования:

- ожоги;
- возгорание одежды;

Для защиты от термического воздействия необходимо использовать специальную одежду согласно ГОСТ Р 12.4.234-2012[38].

При работе с системой оператор находится в непосредственной близости от реакционной зоны, поэтому необходимо соблюдать технику безопасности:

- избегать контакта с раскаленной поверхностью;
- производить замену электродов убедившись в том, что электроды имеют низкую температуру, а система обесточена.

#### б) Расчет искусственной освещенности

Согласно СанПиН 52.13330.2016 в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении, освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 200 Лк [39].

Рациональное освещение обеспечивает высокую производительность трудового процесса и качество работ, исключает возникновение дефектов зрения (спазм аккомодации, ложные близорукость и дальнорукость), травматизм, составляющий (из-за ненормативной освещенности) 30-50% всех несчастных случаев на производстве.

Используются три вида освещения: естественное (от солнца), искусственное (от искусственных источников), совмещенное. При недостатке естественного света нарушаются обмен веществ и резистентность организма, поэтому используются газоразрядные источники, близкие по спектру к естественному свету.

В лаборатории применяется общая система освещения люминесцентными лампами потолочными, световой поток которых равен 2800 Лм.

Коэффициент отражения стен с окнами, без штор  $\rho_c=50\%$ , потолка  $\rho_{\Pi}=70\%$ . Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, для помещений с малым выделением пыли равен  $KЗ = 1.5$ . Коэффициент неравномерности для люминесцентных ламп  $Z= 1.1$ .

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda$ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне (1.1–1.3). Принимаем  $\lambda=1.3$ , расстояние светильников от перекрытия (свес)  $h_c = 0.3$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p, \quad (26)$$

где  $h_n$  – высота светильника над полом, высота подвеса,

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом.

Высота светильника над полом, высота подвеса:

$$h_n = h - h_c = 2600 - 300 = 2300 \quad (27)$$

Высота рабочей поверхности над полом:  $h_{\text{рп}} = 800$ .

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{\text{рп}} = 2300 - 800 = 1500 = 1.5 \text{ м} \quad (28)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda * h = 1.3 * 1.5 = 1.95 \text{ м} \quad (29)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{B}{L} = \frac{4.1}{1.95} = 2.1 \approx 2, \quad (30)$$

где В – ширина комнаты.

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{A}{L} = \frac{7.3}{1.95} = 3.7 \approx 4, \quad (31)$$

где А – длина комнаты.

Общее число светильников составляет 8 штук.

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{1.95}{3} = 0.65 \text{ м} \quad (32)$$

Размещаем светильники в два ряда. На рисунке 32 изображен план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

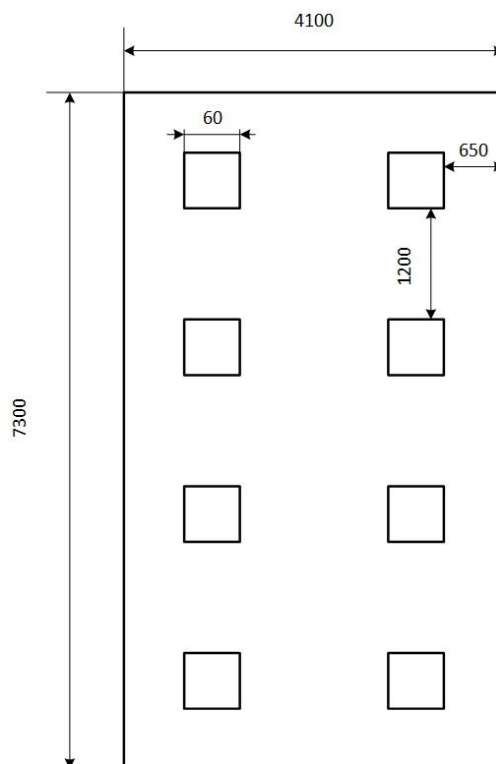


Рисунок 32 – Схема размещения светильников в помещении

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A*B}{h*(A+B)} = \frac{7.3*4.1}{1.5*(7.3+4.1)} = 1.75 \quad (33)$$



Для коэффициентов отражения берутся приблизительные значения: = 50% и потолка = 30%. Значения коэффициента использования светового потока светильников с люминесцентными лампами примем равным 53 %.

Потребный световой поток группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{E \cdot A \cdot B \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 7.3 \cdot 4.1 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{8 \cdot 0.53} = 2329.46 \quad (34)$$

Делаем проверку выполнения условия:

$$10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (35)$$

$$\frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_{\text{п}}}{\Phi_{\text{лд}}} \cdot 100\% = \frac{2800 - 2329.46}{2800} = 16.8\%$$

Таким образом, видно, что световой поток светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

### **5.2.2 Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на исследователя (работающего)**

Для обеспечения снижения влияния выявленных опасных и вредных факторов на работающих, а также для обеспечения безопасности технологического процесса и эксплуатации оборудования были разработаны следующие решения и мероприятия.

Общие мероприятия по снижению влияния опасных и вредных факторов:

- регламентация продолжительности пребывания в помещении;
- сокращение время пребывания в зоне воздействия теплового излучения;
- использование изоляционных экранов для защиты от теплового излучения;
- использование звукопоглощающих материалов;
- защитное заземление;

- автоматическое отключение питания;
- блокировка дверцы реактора во время его работы.

Индивидуальные мероприятия по снижению влияния опасных и вредных факторов:

- проведение инструктажа по технике безопасности;
- использование средств индивидуальной защиты (спецодежда, перчатки, маска, наушники).

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» [37] помещения принято делить на три класса:

- первый класс - "помещения без повышенной опасности";
- второй класс - "помещения с повышенной опасностью";
- третий класс - "особо опасные помещения".

Поскольку в помещении отсутствует сырость, высокая температура, токопроводящие полы, токопроводящая пыль, химическая среда, то оно имеет первый класс опасности поражения электрическим током.

По пожарной и взрывопожарной опасности, согласно Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [40], помещения производственного и складского назначения, независимо от их функционального назначения, подразделяют на следующие категории:

- повышенная взрывопожароопасность (А);
- взрывопожароопасность (Б);
- пожароопасность (В 1—В4);
- умеренная пожароопасность (Г);
- пониженная пожароопасность (Д).

В операторной присутствуют лишь горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), а также вещества в раскаленном состоянии, категория производственного помещения – Г (умеренная пожароопасность).

### 5.3 Экологическая безопасность

Объект исследования не оказывает воздействия на атмосферу и гидросферу. Присутствует воздействие на литосферу в виде отходов, возникающих при замене устаревшего или неисправного оборудования (печатные платы, компьютеры, двигатели, датчики). Если используемое оборудование по каким-либо причинам выйдет из строя, и не подлежит ремонту, то его необходимо будет утилизировать. Пластмассовые, железные детали, можно пустить на переработку. Для сохранения окружающей среды необходимо обратиться в утилизирующие компании.

При переработке утилизирующая компания производит разбор техники. Определяет содержащиеся в ней компоненты и материалы, которые подлежат переработке в сырье для изготовления новой техники.

Большую часть отходов при создании системы составляют печатные платы, вышедшие из строя. Утилизация печатных плат – дорогостоящая технологичная процедура. Сложность утилизации печатных плат состоит в том, что их состав включает множество компонентов разных свойств, например, по плотности и электропроводности [41]. Для эффективного разделения на части используют два вида обработки:

- механическая;
- гидрометаллургическая.

Механическая утилизация снижает затраты на труд и включает этапы:

- измельчение ножами, вращающимися на высокой скорости, в контейнере;
- извлечение черных металлов с помощью сильных магнитов;
- передача плат в шаровую мельницу для получения порошка, просеивание;
- рециркуляция с помощью электростатики;
- повторное измельчение;
- пиролитическая переработка бесполезных компонентов.

Гидрометаллургия — выделение золота с контактным разъемом. Очистка проводится одним из следующих способов:

- растворение меди на подложках в кислоте;
- применение растворов с цианидом для получения электролитического осадка.

## **5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **5.4.1 Анализ вероятных ЧС**

Чрезвычайная ситуация — это состояние, при котором в результате возникновения источника ЧС на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и природной среде.

Наиболее типичной ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения является пожар. Он может возникнуть вследствие причин электрического и неэлектрического характеров. К причинам электрического характера можно отнести короткое замыкание, искрение, статическое электричество. К причинам неэлектрического характера относится неосторожное обращение с огнём, курение, оставление без присмотра нагревательных приборов.

### **5.4.2 Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС**

Пожарная безопасность — комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара [42].

Наиболее типичной ЧС для нашего объекта является пожар. Данная ЧС может произойти в случае замыкания электропроводки оборудования, обрыву проводов, не соблюдению мер пожаробезопасности.

К противопожарным мероприятиям в помещении относят следующие мероприятия:

- помещение должно быть оборудовано: средствами тушения пожара, средствами связи, должна быть исправна электрическая проводка осветительных приборов и электрооборудования;
- каждый сотрудник должен знать место нахождения средств пожаротушения и средств связи, а также помнить номера телефонов для сообщения о пожаре и уметь пользоваться средствами пожаротушения;

Для предотвращения возникновения пожара необходимо проводить следующие профилактические работы, направленные на устранение возможных источников возникновения пожара:

- периодическая проверка проводки;
- отключение оборудования при покидании рабочего места;
- проведение с работниками инструктажа по пожарной безопасности.

#### **5.4.3 Разработка действий в случае возникновения ЧС**

Каждый работник, обнаруживший пожар или его признаки (задымление, запах горения или тления различных материалов, повышение температуры и т.п.) обязан:

1. немедленно сообщить об этом по телефону в пожарную часть (при этом необходимо четко назвать адрес учреждения, место возникновения пожара, а также сообщить свою должность, фамилию и номер своего телефона);
2. задействовать систему оповещения людей о пожаре, приступить самому и привлечь других лиц к эвакуации детей из здания в безопасное место согласно плану эвакуации;

3. известить о пожаре руководителя образовательного учреждения или заменяющего его работника;

4. организовать встречу пожарных подразделений, принять меры по тушению пожара имеющимися в учреждении средствами пожаротушения.

### **5.5 Выводы по разделу**

Таким образом, в разделе социальная ответственность были рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и особенности трудового законодательства применительно к условиям проекта.

Также проанализированы основные вредные и опасные факторы, которые могут возникать в процессе исследований в лаборатории, при разработке и эксплуатации установки, а именно:

отклонение показателей микроклимата;

повышенный уровень шума на рабочем месте;

термическая опасность;

яркое свечение дуги;

повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека;

Были описаны мероприятия по снижению уровней воздействия данных факторов.

Рассмотрен характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. В процессе выполнения работы было выявлено, то, что объект исследования не оказывает влияния на гидросферу и атмосферу, но может оказывать влияние на литосферу. Во избежание загрязнения среды были предложены мероприятия по утилизации отходов, а также способы их утилизации.

Произведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций, возникновение которых возможно при разработке или эксплуатации проектируемого решения. Были разработаны превентивные меры по предупреждению возникновения

чрезвычайных ситуаций, а также разработан порядок действий при возникновении чрезвычайных ситуаций.

Требования, мероприятия, указанные в работе, могут применяться при внедрении проектного решения на производстве, порядок действий при чрезвычайных ситуациях также может быть задействован на производстве.

## Заключение

В результате выполнения данной работы была модернизирована система управления действующего плазмохимического реактора постоянного тока с вертикальными электродами. Данная установка активно используется для получения и исследования таких материалов как: карбид молибдена, карбид титана, карбид вольфрама, а также высокоэнтропийных материалов и других важных и полезных для науки материалов.

Были достигнуты следующие цели:

1. изучены существующие системы плазмохимического синтеза;
2. изучены некоторые конструкции для позиционирования;
3. произведен выбор конструкции для реализации системы позиционирования;
4. произведен монтаж системы;
5. реализовано заземление корпуса согласно ПТЭЭП;
6. реализовано дистанционное управление и видеосвязь с использованием одноплатного компьютера Raspberry;
7. был реализован обмен данными между одноплатным компьютером и аппаратной платформой Arduino, и создана SCADA-система с использованием программного обеспечения CoDeSys;
8. разработаны алгоритмы для поддержания заданного разрядного промежутка между электродами;
9. реализованы алгоритмы для проведения серийных экспериментов.

Все поставленные цели были достигнуты в полном объеме.

После модернизации системы производительность повысилась примерно в 2-3 раза, а количество отказов снизилось с 7 из 40 до 1 из 40, что является очень высоким показателем.

Заземление корпуса снижает риск получения повреждений электрическим током и защищает систему от поломки в непредвиденных ситуациях.



Настройка дистанционного управления позволяет управлять реактором дистанционно и проводить отладку некоторых процессов, а с помощью видеосвязи появилась возможность снимать процесс протекания реакции.

Используя SCADA-систему можно в более удобном формате устанавливать параметры синтеза, следить за параметрами и производить проверку всех кнопок и датчиков. Кроме того, вычислительные возможности Raspberry Pi значительно больше, чем у Arduino, и мы можем производить различные вычисления с полученными данными. Например, посчитать мощность или энергию, которую получил материал в процессе синтеза.

Алгоритмы для поддержания разрядного промежутка делают процесс более стабильным и снижают погрешность, поскольку при увеличении расстояния между электродами также увеличивается и зашумленность сигнала.

Серийное проведение экспериментов позволяет исследовать новые режимы синтеза, и ускоряют процесс, что позволяет не только исследовать материалы, но и начать их малое производство.

Таким образом, выполненные работы значительно улучшили характеристики реактора и упростили работу с ним. С использованием данного реактора были получены различные материалы, по исследованию которых было написано множество статей, в том числе и в международной базе scopus.

## Список литературы

1. Wu R., Zhou K., Yue C.Y., Wei J., Pan Y. Recent progress in synthesis, properties and potential applications of SiC nanomaterials // *Progr. Mater. Sci.* - 2015. – № 72, P. 1-60.
2. Андриевский Р.А. Наноразмерный карбид кремния: синтез, структура, свойства // *Успехи химии.* – 2009. – № 78. – С. 889-900.
3. Pichon T., Barreteau R., Soyris P., Foucault A., Parenteau J.M., Prel Y. CMC thermal protection system for future reusable launch vehicles: Generic shingle technological maturation and tests // *Acta Astronautica.* – 2009. – №. 65. – P.165 – 176.
4. Leleu F., Ph. Watillon, Moulin J., Lacombe A., Ph. Soyris. The thermos-mechanical architecture and TPS configuration of the pre-X vehicle // *Acta Astronautica.* – 2005. – № 56. – P. 453 – 464.
5. Agarwal S., Sarkar S., Das M., Dixit A. Tribo-mechanical characterization of spark plasma sintered chopped carbon fibre reinforced silicon carbide composites // *Ceramics International.* – 2016. – №. 42. – P.18283-18288.
6. Y. Saito, T. Matsumoto, K. Nishikubo. Encapsulation of tic and hfc crystallites within graphite cages by arc discharge // *Carbon.* - 1997. - Vol. 35, N 12. – P 1757-1763.
7. Б.И. Михайлов Электродуговые плазмохимические реакторы раздельного, совмещенного и раздельно-совмещенного типов // *Теплофизика и аэромеханика*, 2010, том 17, № 3
8. Joseph Berkman A, Jagannatham M, Rohit Reddy D, Prathap Haridoss Synthesis of thin bundled single walled carbon nanotubes and nanohorn hybrids by arc discharge technique in open air atmosphere. // *Diamond and Related Materials* 55 - February 2015
9. Ravi Joshi, Jörg Engstler, P. Kesavan Nair, Prathap Haridoss, Jörg J. Schneider. High yield formation of carbon nanotubes using a rotating cathode in open air. // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 5(5):747-52 - June 2005

10. Ghanshyam Tripathi, Balram Tripathi, M. K. Sharma, Y. K. Vijay, Amreesh Chandra, I. P. Jain. A comparative study of arc discharge and chemical vapor deposition synthesized carbon nanotubes. // Fuel and Energy Abstracts 37(4) - January 2011
11. Jiang Zhao, Yanjie Su, Zhi Yang, Liangming Wei, Ying Wang, Yafei Zhang. Arc synthesis of double-walled carbon nanotubes in low pressure air and their superior field emission properties. // Carbon 58:92-98 - February 2013
12. Yanjie Su, Yaozhong Zhang, Hao Wei, Bingjian Qian, Zhi Yang, Yafei Zhang. Length-controlled synthesis of single-walled carbon nanotubes by arc discharge with variable cathode diameters. // Physica E 44 (2012) 1548–1551 - 9 March 2012
13. OCSiAl запустил крупнейшее в мире производство графеновых нанотрубок в Новосибирске [Электронный ресурс] // URL: [https://www.vedomosti.ru/press\\_releases/2020/02/11/ocsial-zapustil-krupneishee-v-mire-proizvodstvo-grafenovih-nanotrubok-v-novosibirske](https://www.vedomosti.ru/press_releases/2020/02/11/ocsial-zapustil-krupneishee-v-mire-proizvodstvo-grafenovih-nanotrubok-v-novosibirske) – Дата обращения 15.03.2021.
14. Компания OCSiAl стала крупнейшим поставщиком одностенных углеродных нанотрубок на европейский рынок [Электронный ресурс] // URL: <http://rusnanonet.ru/news/131882/> – Дата обращения 23.03.2021.
15. Farid Kabirinia, Mohammadreza Shabgard, Nooshin Salman Tabrizi. Prediction of initial particle size of the tungsten carbide synthesized by electrical discharge erosion method based on general dynamic equation of aerosols. // Powder Technology 346 (2019) 283–290 - 01 February 2019
16. Xiaolong Song, Yongning Liu, Jiewu Zhu. Synthesis of polyhedral graphite in a forced flow arc discharge. // Materials Letters 61 (2007) 4781–4783 - 15 March 2007
17. A. Ya. Pak, M. A. Rudmin, G. Ya. Mamontov, O. A. Bolotnikova. Electroarc Synthesis and Cleaning from Carbon Impurities of Cubic Silicon Carbide

in the Air Atmosphere. // Journal of Superhard Materials, 2018, Vol. 40, No. 3, pp. 157–163 - March 23, 2017

18. Nan Li, Zhiyong Wang, Keke Zhao, Zujin Shi, Zhennan Gu, Shukun Xu. Synthesis of single-wall carbon nanohorns by arc-discharge in air and their formation mechanism. // CARBON 48 (2010) 1580 – 1585 - 29 December 2009

19. Jiang Zhao, Liangming Wei, Zhi Yang, Yafei Zhang. Continuous and low-cost synthesis of high-quality multi-walled carbon nanotubes by arc discharge in air. // Physica E 44 (2012) 1639–1643 - 17 April 2012

20. A. Ya. Pak, A. I. Kokorina. Effect of energy on the phase composition of the product of arc discharge synthesis in the tungsten-carbon system obtained in a self-shielding autonomous gas environment // Inorganic Materials: Applied Research volume 12 (2021) 544–550 - 20 April 2021

21. Сивков А.А., Никитин Д.С., Пак А.Я., Рахматуллин И.А. Прямой плазмодинамический синтез ультрадисперсного карбида кремния. // Письма в ЖТФ. – 2013. – Том 39. – Вып. 2. – С.15-20.

22. А.Я. Пак. Возможность синтеза наноразмерного карбида молибдена в атмосферной электроразрядной плазме // Письма в ЖТФ, – 2019, – том 45, – вып. 17 – С.16-19.

23. Теплопроводность меди и алюминия - Металлы и металлообработка [Электронный ресурс] // URL: <https://varimtutru.com/teploprovodnost-medi-i-alyuminiya/> – Дата обращения: 20.03.2021

24. ПУЭ-7 гл.р3.1 [Электронный ресурс] // URL: <http://pue7.ru/pte/table.php?n=p3.1.36> – Дата обращения: 20.03.2021.

25. Умный дом на Raspberry Pi [Электронный ресурс] // URL: <https://future2day.ru/umnyj-dom-na-raspberry-pi/> – Дата обращения: 22.03.2021.

26. Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi – Raspberry Pi [Электронный ресурс] // URL: <https://www.raspberrypi.org/> — Дата обращения 11.01.2021.

27. Starting with CODESYS on the Raspberry Pi – Update [Электронный ресурс] // URL: <https://www.cososo.co.uk/2016/01/starting-with-codesys-on-the-raspberry-pi-update/> – Дата обращения 11.01.2021.

28. Arduino as Raspberry PI's remote IO (Codesys) [Электронный ресурс] // URL: <https://www.fleaplc.it/index.php/tutorials/8-arduino-as-raspberry-pi-s-remote-io-codesys> – Дата обращения 11.01.2021.

29. Герасимов Р. Д., Пак А. Я Двухосевое позиционирование электродов плазмохимического реактора постоянного тока // Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 22-26 Марта 2021. - Томск: ТПУ, 2021

30. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12. 2001 г. № 197–ФЗ (ред. от 30.04.2021).

31. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования. – М: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 9 с.

32. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М: ИПК Издательство стандартов, 2015. – 16 с.

33. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны (с Изменением N 1). – М: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 49 с.

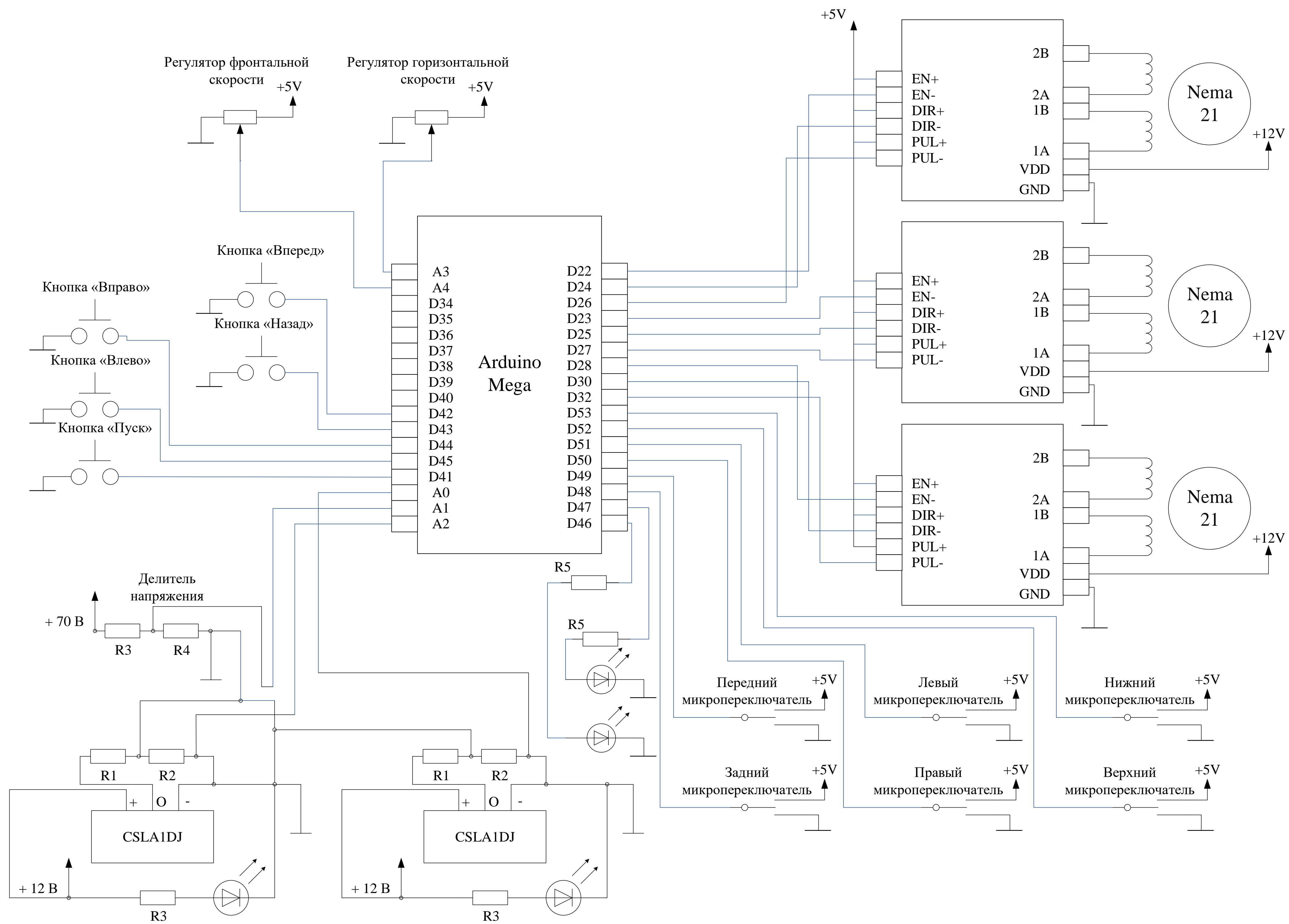
34. Повышенная яркость света, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение [Электронный ресурс] // URL: [https://studbooks.net/1416675/bzhd/povyshennaya\\_yarkost\\_sveta\\_infrakrasnoe\\_ultra\\_fioletovoe\\_izluchenie](https://studbooks.net/1416675/bzhd/povyshennaya_yarkost_sveta_infrakrasnoe_ultra_fioletovoe_izluchenie) – Дата обращения 15.05.2021.

35. ГОСТ Р 12.4.254-2013 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты глаз и лица при сварке и аналогичных процессах. – М: ИПК Издательство стандартов, 2014. – 26 с.

36. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы. – М: ИПК Издательство стандартов, 2008. – 9 с.
37. Правила устройства электроустановок ПУЭ. Сибирское университетское издательство, 2011. – 464с.
38. ГОСТ Р 12.4.234-2012 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная для защиты от термических рисков электрической дуги. – М: ИПК Издательство стандартов, 2019. – 39 с
39. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Свод правил. – М: ИПК Издательство стандартов, 2018. – 116 с.
40. Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». – М., 2016. – 98с.
41. ООО "Московская утилизирующая компания" [Электронный ресурс] / Утилизация печатных плат и электроники // URL: <https://www.fpk-service.ru/utilizaciya-plat.html> – Дата обращения 28.05.2019.
42. ГОСТ 12.1.033-81 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожарная безопасность. Термины и определения (с Изменением N 1). – М: ИПК Издательство стандартов, 2015. – 9 с.

**Приложение А**  
(обязательное)  
**Схема подключения оборудования**

Изм. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №			



						ФЮРА.425282.Э4					
						Схема подключения оборудования	Лит.		Масса	Масштаб	
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата		у			1:1	
Разработал	Герасимов Р.Д.										
Проверил	Пак А.Я.										
Т. контр.							Лист 1		Листов 1		
Нач. отд.											
Н. контр.											
Утв.											



## Приложение Б

(справочное)

### Review of plasma arc reactors

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8TM91	Герасимов Роман Дмитриевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОАР ИШИТР	Пак Александр Яковлевич	К.Т.Н		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИЯ ШБИП	Сидоренко Татьяна Валерьевна	к.п.н., доцент		

## Introduction

Over the last two decades, nanostructured carbon materials have been studied by various researchers. Many nanomaterials are increasingly being used in everyday life. One of these materials is silicon carbide. It has various properties useful for science and technology, such as high hardness, resistance to oxidation in air, corrosion resistance, radiation resistance, high thermal conductivity, etc. [1, 2]. These properties make silicon carbide promising for use in many industries, including aerospace [3, 4] as a basis for obtaining high-temperature superhard ceramics [5]. Silicon carbide is mainly produced in various types of reactors. However, many reactors have the following disadvantages: manual control [6] and, as a consequence, low repeatability of experiments, complex and expensive equipment, vacuum chambers and pumps, inert gases balloons. Also, it should be noted that many developments in this area are carried out outside Russia, mostly in Japan.

In Russia, there is a setup for nanodispersed materials synthesis in the research center of "Ecoenergy 4.0", which is a structural subdivision of the power engineering school of Tomsk Polytechnic University. This setup is not a complete system, but a laboratory sample. This is reflected in low productivity, only about 2-7 grams per work cycle, which is a small amount for industrial production. Nevertheless, this amount of material is sufficient to study the properties and parameters.

The setup requires some modernization to meet modern requirements. Firstly, during the pandemic, an acute problem has become the lack of the ability to remotely debug and control. Secondly, with the increasing time of synthesis the size of the discharge gap also increases, which leads to extinguishing the arc. Third, an important stage in the development of the system is scaling and increasing productivity. To solve these problems, the following tasks were set:

1. realization of remote control and video communication using a single-board computer Raspberry, also implementation of data exchange between the single

board computer and the Arduino hardware platform, for the possibility of transferring parameters or outputting data from the sensor using the Ethernet protocol;

2. development of algorithms for maintaining a given discharge gap between the electrodes;

3. selection of components for the electrodes positioning system;

4. implementation of a three-axis positioning system to increase the productivity of the reactor;

5. development of algorithms for serial experiments.

The aim of this work is to modernize the control system of a direct current electric arc reactor of the combined type with vertical electrodes. The modernization of this system should increase the reactor productivity, maintain a stable electric power in the arc under conditions of changing the discharge gap value, as well as monitor the operating modes.

## Domain analysis

### Methods for nanodispersed materials synthesis

There is a number of general approaches that are characteristic of all nanopowders synthesis methods and distinguish them from methods of producing conventional powders:

- high rate of particles nucleation centers formation,
- low growth rate of particles,
- the largest particles size is not more than 100 nm,
- narrow range of particle size distribution,
- stability of obtaining particles of a given size range,
- reproducibility of the chemical and phase particles composition,
- increased requirements for the control and management of the synthesis

parameters.

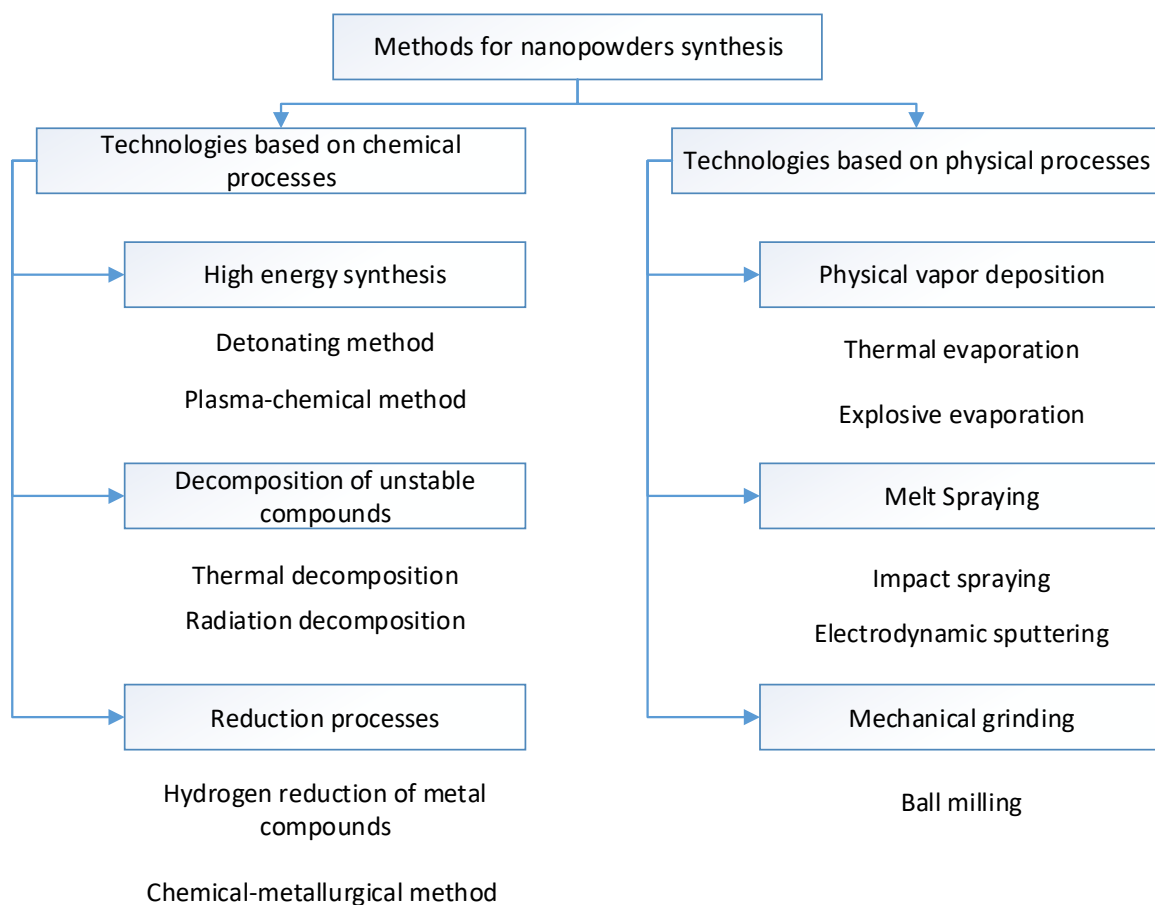


Figure 4 – Methods for nanodispersed materials synthesis

Plasma-chemical synthesis is carried out using low-temperature plasma of arc or glow discharges (conventional, high-frequency, or microwave discharges). Metals, halides, or other compounds are usually used as raw materials.

The interaction of plasma with the processed raw material provides melting, dispersion, evaporation, and then reduction and synthesis of a product with a particle size up to nanometers, including the parameters of the so-called critical nucleus. The most universal method for producing metals nanopowders, alloys, and compounds is reduction and synthesis in chemically active plasma. In several synthesized objects, there is noted a relatively small scatter of dispersion and a particle shape closed to spherical. Due to a sufficiently high plasma temperature (up to 10,000 K) and high interaction rates, the transition of almost all initial materials to a gaseous state is ensured, followed by their interaction and condensation of products in the form of nanopowders with regular-shaped particles having sizes from 10 to 200 nm.

### **Plasma-chemical reactors**

One of the main advantages of plasma-chemical reactors is high productivity, determined by the high rate of chemical processes in them. According to the classification of electric arc plasma-chemical reactors, there are reactors of separate, separately-combined, and combined types (Figure 2). The classification is made based on the location of plasma generation and plasma-chemical reaction zones.

One of the main advantages of plasma-chemical reactors is high productivity, determined by the high rate of chemical processes in them. An electric arc is used as a heating element because high power and high thermal energy density allow reaching high temperatures in the reactor. In this regard, nowadays plasma-chemical reactors are becoming more popular both in the synthesis of nanosized materials and in polymers processing. The existing reactors have the following design shown in Figure 3 [8].

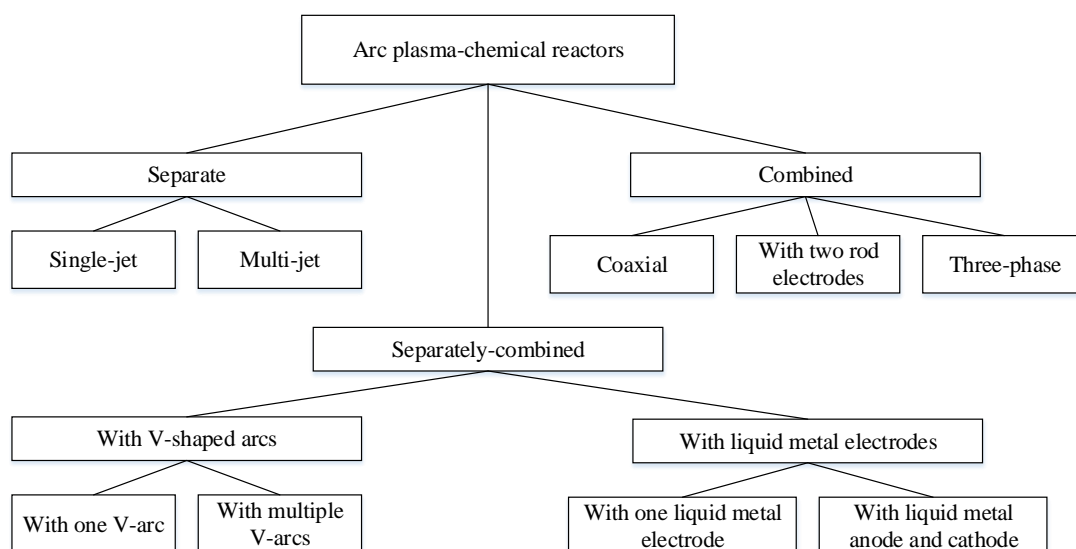


Figure 5 – The classification of electric arc plasma-chemical reactors [7]

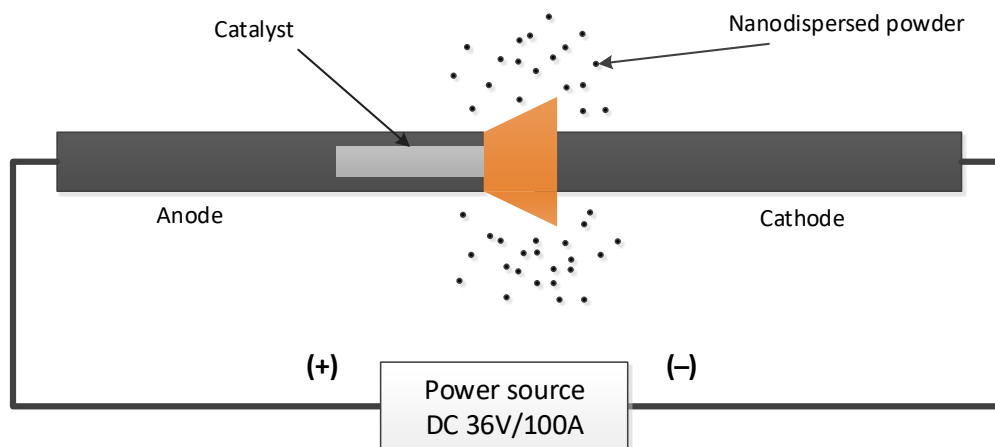


Figure 6 – Typical design of combined reactor

The electrodes can have either the same or different diameters and shapes; also their position in the reactor may be vertically or horizontally. In addition, there are systems with a rotating anode [9], with a system of gas flow regulation [10], or with the creation of low pressure [11], and even with a variable cathode diameter [12].

## Review of reactors

Most of the reactors for nanomaterials production are commercial secrets or small installations at various scientific and educational institutions. For example, the company OCSiAl, which is located in Novosibirsk, has a facility for graphene nanotubes production. At the moment, it is known about the industrial plant

Graphetron 50 [13], which allows producing 50 tons of material per year. In 2020, OCSiAl became the largest supplier of carbon nanotubes in Europe [14]. There is no information and/or photos/diagrams of this installation in the public domain. Moreover, if a person, who does not have access, enters the area where the installation is located, then the system is automatically closed with opaque sheets, the so-called sarcophagus (Figure 4).

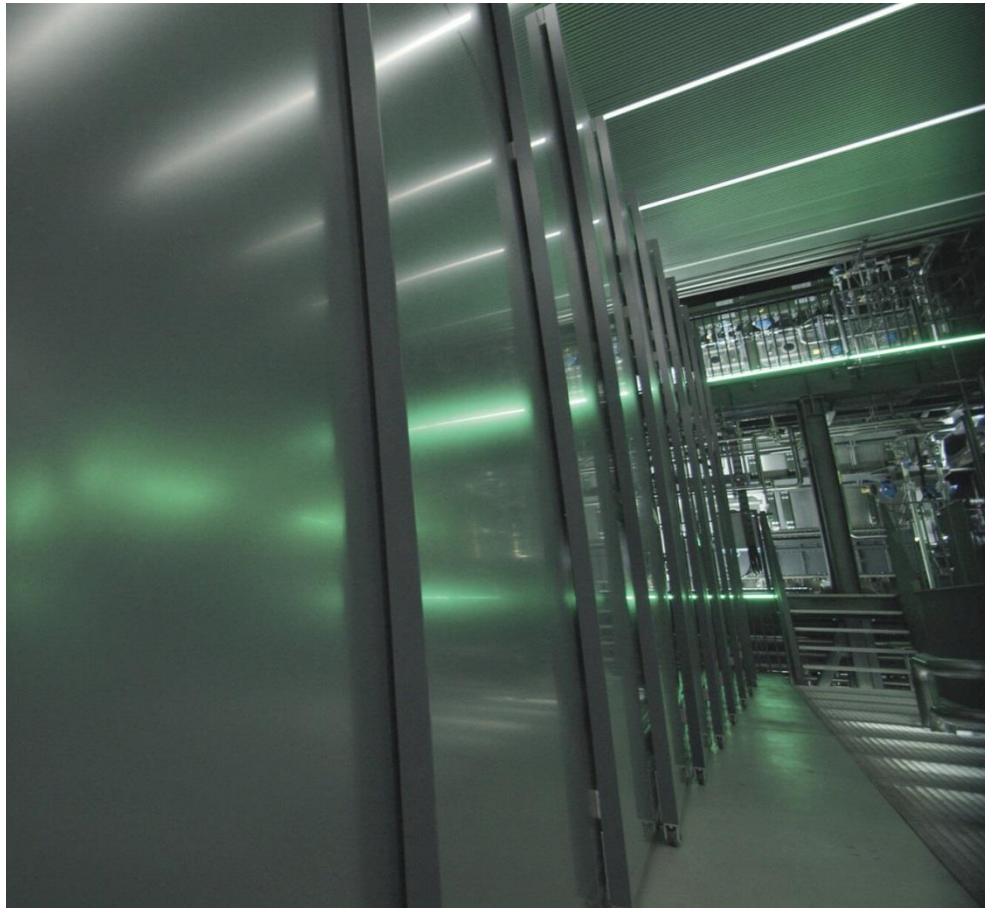


Figure 4 – The example of sarcophagus

As it can be seen, such industrial-scale systems are not published in the public domain. Therefore, it becomes possible to study such systems only according to the schemes in scientific publications. For example, a system for producing tungsten carbide by the method of electrical erosion [15]. Structurally, this system is similar to the typical design of combined plasma-chemical reactors (Figure 5).

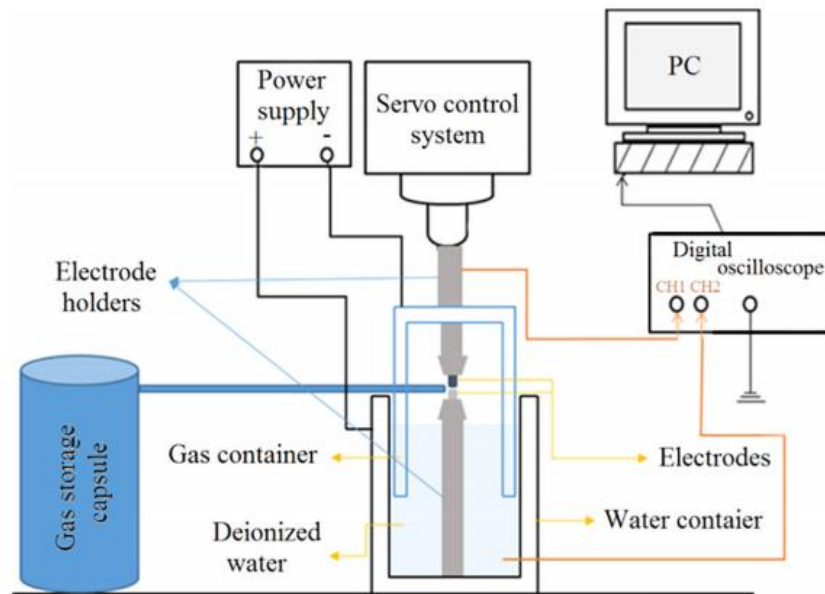


Figure 5 – The setup for the tungsten carbide synthesis in an inert medium

As it can be seen from Figure 5, the main differences from the synthesis in the open air are the supply of inert gas directly to the reaction zone and filling the chamber with deionized water to ensure the product purity.

Another system, which is shown in Figure 6, works similarly. The main difference consists in filling the container with inert gas, and at the same time, the synthesis product is blown off from the reaction zone by a fan, which consists of a blade and motor. Then the collection of material is carried out from the chamber walls [16].

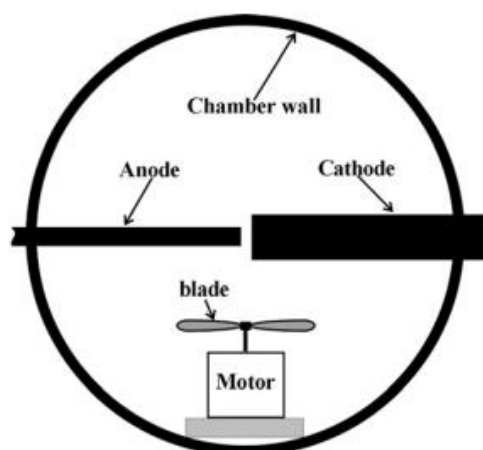


Figure 6 – The DC plasma-chemical reactor with a fan [16]



According to the literature review, many installations use inert gases as a medium for synthesis, which significantly influences the cost and complexity of the reactor assembly, although some studies [17, 18] have shown that high-quality materials can be obtained in the open air.

Among the automated systems, a reactor with rotating electrodes should be noted (Figure 7) [19].

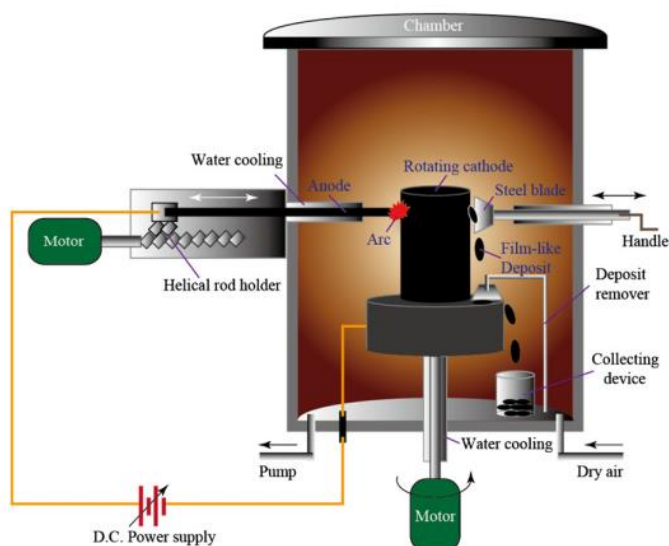


Figure 7 – The reactor with rotating electrodes [19]

In the system, a graphite rod with a diameter of 8 mm and a length of 150 cm was used as the anode. This electrode is attached to a helical rod holder in a transfer device that feeds the electrode into the chamber using a stepper motor. A graphite cylinder with a diameter of 80 mm and a height of 120 mm was used as a cathode. The electrode is attached to a graphite disk with a diameter of 160 mm and a height of 20 mm, which is connected to a motor with a rotational speed of 3 rpm. The distance between the anode and cathode can be changed using a stepper motor. The opposite side of the anode consists of a steel blade and a handle, which is used to scrape off film-like products deposited on the surface of the cylindrical cathode. A water system is used to cool the electrodes, and the chamber is filled with dry air.

The review showed, that most DC plasma-chemical reactors use inert or vacuum medium for synthesis. It indicates the novelty of the method for the nanodispersed materials synthesis in the open air. This vacuum-free method has been

tested for the production of tungsten carbide [20], silicon carbide [21], molybdenum carbide [22], and other materials.

### **Conclusion**

As it can be seen from the conducted research each of the systems has its advantages and disadvantages. In addition, it should be noted that different reactor designs are suitable for different synthesis materials. For example, a system with a horizontal arrangement of electrodes is better suited for working with metals. Also, many systems use manual control of the movement of the electrodes, which leads to low repeatability of experiments.

Based on the review, nowadays the most poorly studied systems are reactors of the combined type, which provide the synthesis in the open air. Most of the reactors use inert gases and vacuum to synthesize a material; it greatly affects the final cost and labor intensity of assembling such reactors. A system operating in the open air is simpler, has low cost and high production speed. However further upgrades for increasing productivity will complicate the system, which will negatively affect cost and production speed. Despite this, in the long term, the economic benefit from the system modernization can significantly exceed current costs.